В. П. КИСМЕРЕШКИН



ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИЕМА

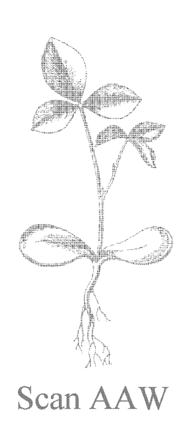
МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Основана в 1947 году
Выпуск 1050

В. П. КИСМЕРЕШКИН

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Издание второе, переработанное и дополненное



МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1982

ББК 32.94.5
К44
УДК 621.397.13:621.396.67

Кисмерешкин В. П.

К44 Телевизионные антенны для индивидуального приема. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1982. — 88 с. с ил.
(Массовая радиобиблиотека. Вып. 1050)
55 к.

Изложены возможные варианты построения диапазонной антенны из изогнутых проводников, описаны конструкции различных антенн и особенности их применения в условиях эксплуатации. Даны подробные рекомендации по изготовлению антенн доступными средствами.
Рассчитана на радиолюбителей.

$К\frac{2402020000-013}{046(01)-82}191-82$ **ББК 32.94.5**
6Ф2.12

Редакция литературы по радиосвязи, радиовещанию и телевидению

РЕЦЕНЗЕНТ Л. М. КАПЧИНСКИЙ

Владимир Павлович Кисмерешкин

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИЕМА

Редактор Л. И. Венгренюк
Художник В. Козлов
Художественный редактор Г. Н. Кованов
Технический редактор Г. И. Колосова
Корректор Т. Г. Захарова

ИБ № 682

Сдано в набор 14 08 81 г. Подписано в печать 26.10.81 г.
Т-28609 Формат 60×90/16 Бумага тип. № 3 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л 5,5 Усл. кр.-отт. 6,0 Уч.-изд. л. 7,47
Тираж 100 000 экз. (2-й завод: 50 001—100 000 экз.)
Изд № 19103 Зак. № 3 Цена 55 к
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга представляет собой переработанное и дополненное издание ранее вышедшей книги [1]. В ней более подробно изложены возможные варианты построения диапазонной антенны из изогнутых проводников, описаны конструкции различных антенн и особенности их применения. Даны подробные рекомендации по изготовлению антенн доступными средствами. Следует заметить, что изготовление той или иной конструкции возможно после детального ознакомления с текстом, так как описание отдельных элементов (например, подключение кабеля, выбор размеров) является общим для всех конструкций, и поэтому автор вправе не останавливаться на повторном описании тех или иных положений. Указанное предостережение при всей своей очевидности, оказывается, имеет смысл, так как автором получено много писем с вопросами, ответы на которые имеются в тех или иных разделах книги.

С момента выхода первой книги и по настоящее время издательством и автором получено много писем от читателей, в которых и большое количество вопросов, и критические замечания, и пожелания и предложения. Основное пожелание читателей по письмам — сделать книгу более доступной «неспециалистам» и полнее описать возможно больше вариантов антенн.

В этой связи автор взял на себя труд дополнить книгу и сделать ее более доступной. Как и предыдущая, данная книга посвящается использованию антенны в технике приема телевидения.

Более подробно описаны особенности приема программ телевидения при значительном удалении от телецентра. Параметры антенн, принцип работы и основные характеристики описаны в более доступной форме. Особое место уделено в книге вопросам подключения антенн к кабелю, вопросам согласования, их конструктивному выполнению и выбору материалов для конструирования.

Значительное количество чертежей, приведенных в книге, думается, приблизит задуманное автором к тому, чтобы в возможно бóльшей степени удовлетворить желание читателей. Расширено описание ряда решений, предложенных автором для наиболее подготовленных радиолюбителей.

Надеюсь, указанные конструкции станут более доступными.

Время с момента выпуска первой книги показало, что интерес к описываемым конструкциям и решениям большой, и это послужило значительным стимулом для написания предлагаемой Вам книги. Насколько это удалось, я узнаю с Вашей помощью. Поэтому все замечания и отзывы по книге просьба направлять по адресу: 101000, Москва, Главпочтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь».

Автор

---

[1] В. П. Кисмерешкин. Телевизионные антенны для индивидуального приема. — М.: Связь, 1976.

ОСОБЕННОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ И ПРИЕМА ЕГО СИГНАЛОВ

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

Телевизионное вещание в наши дни стало привычным, повседневным и весьма желаемым средством приобщения многомиллионной армии телезрителей к культуре, искусству, науке, последним событиям в мире. Голубой экран привлекает к себе подавляющее большинство населения страны.

В настоящее время все телевизионные центры связаны с помощью радиорелейных линий связи или с помощью системы «Орбита» с Общесоюзным телевизионным центром. Вместе с программой центрального телевидения телевизионные центры транслируют местные программы. Во многих точках Советского Союза для расширения сети телевизионного вещания установлены маломощные ретрансляторы с целью охвата большого количества отдаленных населенных пунктов.

С помощью специальных ретрансляторов на спутниках Земли удалось охватить телевизионным вещанием значительные труднодоступные районы Сибири и Дальнего Востока.

Для телевизионного вещания в СССР и ряде стран Европы выделены следующие диапазоны радиочастот: I 48,5—66 МГц, II 76—100 МГц, III 174—230 МГц, IV 470—630 МГц.

В табл. 1 приведены несущие частоты звука и изображения, соответствующие каждому диапазону и каналу. В настоящее время число задействованных каналов увеличивается, при этом особенно осваивается дециметровый диапазон.

Таблица 1

Номер диапазона	Номер канала	Диапазон частот, МГц	Средняя длина волны в канале, м
I	1	48,5—56,5	5,72
	2	58,0—66,0	4,84
II	3	76,0—84,0	3,75
	4	84,0—92,0	3,40
	5	92,0—100,0	3,13
III	6	174,0—182,0	1,68
	7	182,0—190,0	1,61
	8	190,0—198,0	1,55
	9	198,0—206,0	1,48
	10	206,0—214,0	1,43
	11	214,0—222,0	1,36
	12	222,0—230,0	1,32
IV	21	470,0—478,0	0,633
	22	478,0—486,0	0,622
	23	486,0—494,0	0,612
	24	494,0—502,0	0,602
	25	502,0—510,0	0,595
	26	510,0—518,0	0,583
	27	518,0—526,0	0,574
	28	526,0—534,0	0,565
	29	534,0—542,0	0,557
	30	542,0—550,0	0,548
	31	550,0—558,0	0,542
	32	558,0—566,0	0,533
	33	566,0—574,0	0,527
	34	574,0—582,0	0,518
	35	582,0—590,0	0,512
	36	590,0—598,0	0,505
	37	598,0—606,0	0,498
	38	606,0—614,0	0,492
	39	614,0—622,0	0,485
	40	622—630	0,479

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНТЕННАМ ДЛЯ ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ

Передача телевизионных программ осуществляется путем излучения электромагнитных волн передающим центром, включающим в себя комплекс аппаратуры для формирования сигнала и передающие антенны, позволяющие излучить электромагнитную энергию во всех направлениях с достаточным уровнем сигнала на входе телевизионного приемника.

Электромагнитное поле характеризуется двумя векторными (имеющими определенное направление) величинами: напряженностью электрического поля *E* и магнитного поля *H*.

На рис. 1 представлена схематично антенна. Если подключить к точкам *cд* фидер и подать на него высокочастотную мощность, то антенна начнет излучать в обе стороны в направлении стрелок. Допустим, нам удалось мгновенно сфотографировать структуру поля. В этом случае она будет выглядеть в виде двух синусоид, расположенных взаимно перпендикулярно друг к другу. Синусоида, расположенная в вертикальной плоскости, характеризует изменение напряженности магнитного поля *H*, а синусоида, расположенная в горизонтальной плоскости, соответствует изменению напряженности электрического поля. Выше было сказано, что так выглядит картина поля на мгновенной фотографии. В действительности вся представленная картина непрерывна и изменяется во времени, этот волновой процесс «бежит» в обе стороны от антенны в пространстве со скоростью, близкой к скорости света. Аналогично обстоит дело, если антенна работает на прием. Разница лишь в том, что описанный волновой процесс, пробегая плоскость антенны, создает в точках *cд* высокочастотное напряжение, которое по фидеру поступает на вход приемного устройства.

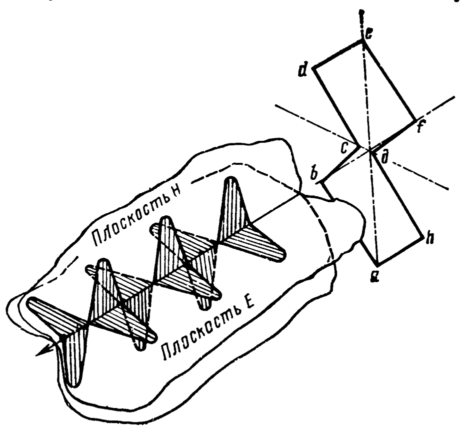


Рис. 1

Учитывая диапазон радиоволн, используемых в телевидении, прием ведут по электрической составляющей (*E*) электромагнитного поля, которая характеризуется определенным затуханием в пространстве и определенной ориентацией. Ориентация напряженности электрического поля в телевизионном вещании принята горизонтальная и вертикальная.

У антенны с горизонтальной поляризацией (см. рис. 1) вектор напряженности электрического поля колеблется в горизонтальной плоскости. Плоскость, в которой находится напряженность электрического поля, называют для краткости «плоскостью *E*» и соответственно другую плоскость называют «плоскостью *H*».

Выше было сказано, что электромагнитное поле в точке приема характеризуется напряженностью электрического поля. Напряженность электрического поля определяет уровень напряжения на зажимах приемной антенны, который зависит не только от напряженности электрического поля в точке приема, но и от конструктивных и электрических параметров антенн. Ослабление напряженности поля зависит от частоты электромагнитного поля. Чем выше частота (чем больше номер телевизионного канала), тем бóльшее затухание испытывает сигнал с увеличением расстояния. Можно заметить и другую особенность распространения электромагнитных волн: на одной и той же частоте и при равных расстояниях до передающей антенны уровни принимаемого сигнала могут быть различны. Это связано с различными условиями распространения. В свою очередь условия распространения определяются наличием препятствий на трассе распространения, характером препятствий, состоянием земной поверхности и атмосферы и др. Если на малых расстояниях перечисленные факторы мало влияют на

качество приема телевидения из-за достаточно большого уровня сигнала, то при приеме сигналов из областей тени и полутени эти факторы становятся решающими.

При распространении радиоволн в пределах прямой видимости чаще всего не возникает каких-либо трудностей при приеме сигналов телевизионного вещания. Прием ведется обычными антеннами. С учетом рефракции (огибания радиоволн вдоль земной поверхности) дальность прямой видимости определяется из соотношения (в километрах)

$$r=4{,}1(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}), \qquad (1)$$

где h_1, h_2 — высота приемной и передающей антенн соответственно.

При высоте передающей антенны $h_2=350$ м и приемной антенны $h_1=10$ м дальность прямой видимости составляет $r=89{,}6$ км. При дальнейшем увеличении расстояния качество приема ухудшается, так как прием ведется уже из областей полутени и тени. При приеме в этих областях решающими являются следующие факторы: расстояние от телевизионного центра; степень пересеченности местности (возвышенности, горы, реки, водоемы, лесные массивы искусственные препятствия и сооружения); чувствительность телевизионного приемника; высота установки передающих антенн телецентра, их коэффициент усиления, мощность передатчиков; номер канала, которому соответствуют частоты несущих звука и изображения; высота подъема приемной антенны и ее основные параметры (коэффициент усиления, уровень согласования приемника и антенны с фидером), длина и тип фидера. Перечисленные факторы в той или иной степени определяют качество приема. Величину напряженности электрического поля (E) в точке приема определяет расстояние от телевизионного центра. Соответственно в зонах полутени и тени рассеянная напряженность поля будет большей величиной на меньшем расстоянии. Если области тени и полутени образуются на расстояниях меньших, чем это определено формулой (1), вероятность приема все-таки выше, чем за пределами прямой видимости. Это связано и с большей величиной рассеянного поля, и с бо́льшими возможностями в части выбора местоположения приемной антенны. На практике при приеме телевидения в условиях большого количества строений часто незначительное перемещение антенны или изменение ориентации может привести к существенному улучшению приема.

Что касается высоты передающих антенн, мощности передающего устройства, то здесь необходимо лишь учитывать эти факторы с целью определения возможности приема в данном месте.

Существенным фактором, определяющим качество телевизионного приема, является номер канала, по которому транслируются телевизионные программы. Как известно, бо́льшему номеру канала соответствуют более высокие частоты несущих изображения и звука. Затухание же радиоволн в пространстве тем выше, чем больше частота. Следовательно, при приеме телевизионных программ по каналам телевидения, соответствующим большому номеру, необходимо применять антенны с большим коэффициентом усиления. При этом все более существенным оказывается затухание в фидере, соединяющем антенное устройство с телевизионным приемником: затухание в фидере тем больше, чем выше номер канала. Особенно это надо учитывать при неблагоприятных условиях приема.

При приеме телевидения на индивидуальные антенны особый интерес представляет вопрос высоты подвеса антенны над землей. С одной стороны, чем выше антенна устанавливается над землей, тем больше расстояние прямой видимости. А как быть с областями тени и полутени? Если увеличение высоты приемной антенны не дает возможности достичь зоны прямой видимости, то от высоты приемной антенны уровень сигнала зависит весьма слабо. В частности, при приеме телевидения на расстоянии порядка 100 км (область тени), увеличение высоты подвеса с 5 до 10 м к заметному изменению качества приема не приводит. Экспериментально это проверялось неоднократно. С другой стороны, увеличение коэффициента усиления антенны при том же расстоянии между приемной и передающими антеннами приводит к заметному улучшению качества приема. Таким образом, при приеме сигналов телевизионного вещания в областях тени и полутени улучшение параметров антенного устройства может существенно влиять на качество приема.

Для примера рассмотрим результаты, полученные при приеме телевизионного изображения с трех направлений при различных расстояниях от телецентра, превышающих расстояние прямой видимости. При этом высоты передающей и приемной антенн составляли соответственно $h_2=183$ м, $h_1=10$ м. В соответствии с формулой (1) расстояние прямой видимости составляет 69 км. Оценка качества изображения производилась путем сравнения четкости изображения по испытательной таблице ТИТ-0249. Прием осуществлялся телевизионным приемником «Изумруд» по 1-му телевизионному каналу. При этом изображение считалось хорошим при четкости 300—250 строк и неудовлетворительным при четкости менее 200 строк. Как показали усредненные результаты приема телевизионного изображения по трем направлениям, на расстоянии до 70 км имел место удовлетворительный прием на антенное устройство с коэффициентом усиления порядка $K=5$ дБ, тогда как прием на антенну с $K=3$ дБ имел место на расстоянии порядка 40 км. При этом звуковое сопровождение принималось одинаково хорошо как в том, так и в другом случаях. Следовательно, для среднепересеченной местности зона уверенного приема может быть расширена за счет повышения эффективности антенного устройства.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН

Антенные устройства предназначены для приема и передачи электромагнитной энергии. Их свойства могут быть оценены рядом параметров, которые необходимо знать и уметь выбирать при конструировании. Антенны могут работать как в режиме приема, так и в режиме передачи. Поэтому работу антенны иногда рассматривают на примере режима передачи, хотя она предназначена для приема. Здесь нет никаких противоречий, так как основные параметры эквивалентны для обоих случаев, а обращение к режиму передачи существенно упрощает понимание работы антенны.

Одной из основных характеристик антенн является их направленность. Направленные свойства антенны зависят от геометрии антенны, частоты, размещения антенны в пространстве и т. д. Такая сложная зависимость не позволяет характеризовать направленные свойства в полном объеме одним параметром, поэтому вводят несколько параметров. Направленные свойства характеризуются диаграммой направленности. Что же такое диаграмма направленности?

Рассмотрим рис. 2, на котором представлены две антенны *1*: одна из них подсоединена фидером *2* к генератору высокочастотных колебаний *4*, другая — к детектору этих колебаний *6* и милливольтметру *5*. Если поворачивать антенны *1* в азимутальной плоскости, то можно обнаружить изменение сигнала в зависимости от угла поворота. Произведем юстировку антенн по наибольшему уровню сигнала на милливольтметре.

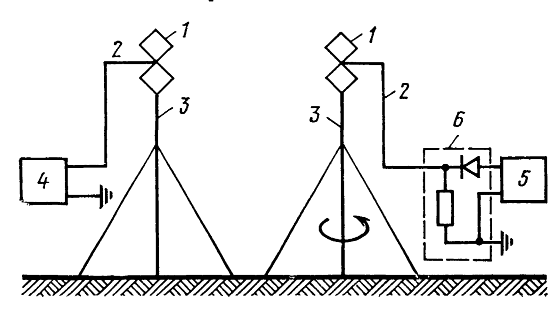


Рис. 2

Если зафиксировать антенны в положении наибольшего уровня сигнала на милливольтметре и за точку отсчета принять это положение, то, поворачивая приемную антенну (например, через 10°) и фиксируя при каждом положении соответствующее значение напряжения на милливольтметре, получим зависимость уровня сигнала от угла поворота антенны. Эта зависимость называется

диаграммой направленности антенны. Для удобства пользования и графического представления диаграммы направленности все значения напряжения делятся на наибольшее. Полученная зависимость называется нормированной диаграммой направленности. Если вектор напряженности электрического поля лежит в горизонтальной плоскости, диаграмма направленности называется диаграммой направленности в E-плоскости. Легко заметить, что возможно снятие диаграммы направленности в плоскости вектора напряженности магнитного поля — H-плоскости. С этой целью достаточно повернуть обе антенны 1 в вертикальной плоскости на 90° и процедуру снятия зависимости уровня напряжения от угла поворота антенны повторить. На рис. 3 приведена снятая таким образом диаграмма направленности и показана ее форма в пространстве. Из рисунка видно, что диаграмма направленности показывает характер изменения сигнала при различных углах прихода лучей. При этом следует заметить, что линия максимального излучения совпадает с центральной осевой геометрической линией симметрии конструкции антенны. В отсутствие симметрии конструкции в «Е»- и «Н»-плоскостях максимум диаграммы направленности отклоняется соответственно от геометрической линии симметрии. Диаграмма направленности на уровне $0{,}7E_{max}$ (или на уровне $0{,}5P_{max}$) соответственно для плоскостей $E(\theta_E)$ и $H(\theta_H)$.

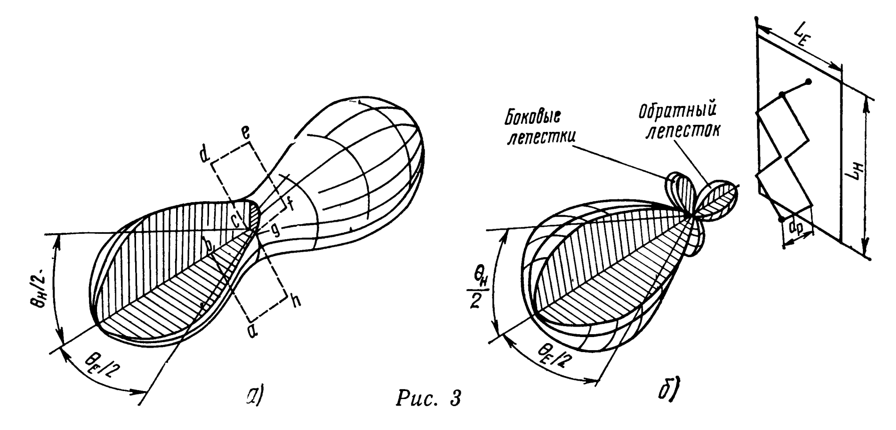


Рис. 3

На рис. 3б представлена пространственная диаграмма направленности для случая однонаправленного приема. Как видно из рис. 3б, прием сигналов с обратной стороны здесь значительно ослаблен. Однонаправленная характеристика достигается путем установки рефлектора. Здесь, как и для случая антенны без рефлектора, диаграмма направленности может быть описана углами раствора характеристики на уровне половинной мощности. Через эти углы может быть вычислена еще одна важная и более обобщенная характеристика — коэффициент направленного действия (КНД).

Коэффициент направленного действия — это величина, численно равная отношению мощностей на входах направленной и ненаправленной антенн при приеме одного и того же источника излучения. Чем у́же диаграмма направленности антенны, тем выше ее коэффициент направленного действия. Достаточно простая формула для определения коэффициента направленного действия в разах имеет следующий вид:

$$\text{КНД} \approx \frac{41\,200}{\theta_E\,\theta_H} (\text{град}^2), \qquad (2)$$

где θ_E, θ_H — ширина диаграммы направленности на уровне $0{,}707E_{max}$ для плоскостей E и H соответственно. Приведенная формула позволяет вычислить КНД по сравнению с КНД абсолютно ненаправленной (изотропной) антенны. Практически для сравнения принимают полуволновой вибратор. В этом случае усиление в 1,64 раза меньше по сравнению с усилением при изотропной антенне.

Коэффициент направленного действия часто выражают в логарифмических единицах, называемых децибелами (дБ). Для выражения КНД в децибелах пользуются выражением

$$D \approx 10 \lg (41\,200/\theta_E \theta_H). \quad (3)$$

Соответственно этому для получения коэффициента направленного действия по сравнению с полуволновым вибратором величина D (в дБ) должна быть уменьшена на 2,14 дБ.

Как видно из рис. 3*б*, характеристика направленности содержит побочные лепестки, а это значит — возможен прием мешающих сигналов. Лепестки в переднем полупространстве называют побочным излучением, а в заднем полупространстве — обратным излучением. Величины этих лепестков выражают в относительных единицах или в логарифмических по сравнению с максимальным уровнем приема.

Для удовлетворительной работы антенны обычно выбирают расстояние до рефлектора $d_р \geqslant 0{,}14\lambda_{max}$, размеры рефлектора $(L_E \times L_H) \geqslant (0{,}5\lambda_{max} + 0{,}5\lambda_{max})$, шаг сетки $t \leqslant (0{,}05 \div 0{,}07)\lambda_{min}$. При этом уровень побочного излучения является допустимым и составляет не более $(0{,}2 - 0{,}4)E_{max}$.

Для описания энергетических свойств антенны вводят коэффициент усиления антенны (КУ), который характеризует не только направленные свойства антенны, но и потери в ее проводниках. В рассматриваемых антеннах потери обычно малы и коэффициенты направленного действия равны коэффициентам усиления.

Величина мощности сигнала на входе приемника зависит от потерь в линии передачи. Коэффициент полезного действия линии передачи зависит от потерь в ней и степени согласования антенны с фидером и т. д. Согласованием называют условия, при которых соблюдается соотношение: $Z_{вх} = W_ф = Z_{вх\,пр}$, где $W_ф$ — волновое сопротивление фидера; $Z_{вх.пр}$ — входное сопротивление приемника.

Выполнить это условие во всем диапазоне частот весьма трудно. Поэтому вводят некоторые параметры, позволяющие оценить степень согласования входного сопротивления антенного устройства с волновым сопротивлением фидера. Волновое сопротивление характеризует конструктивные соотношения в линии передачи (фидере), а следовательно, погонную емкость и индуктивность линии передачи. Другими словами, каждый достаточно малый отрезок линии передачи можно представить как последовательное соединение (рис. 4*а*) бесконечного

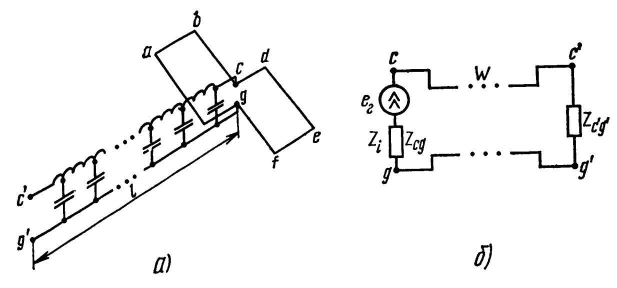


Рис. 4

количества звеньев LC. Указанные параметры линии прямо связаны с ее геометрическими соотношениями. Волновое сопротивление линии передачи (в омах) в общем случае равно $W = \sqrt{L/C}$. Выражение его через конструктивные размеры зависит от геометрии линии. В табл. 2 представлены наиболее часто встречающиеся и применяющиеся на практике типы линий передачи и формулы для определения волнового сопротивления линии. При этом, в случае заполнения диэлектриком пространства между проводниками в линиях, волновое сопротивление уменьшается в $\sqrt{\varepsilon}$ раз, где ε — диэлектрическая проницаемость.

Для оценки степени согласования антенны с линией передачи вводят следующие коэффициенты: коэффициент бегущей волны (КБВ), коэффициент стоя-

Таблица 2

Тип линии передачи	Линия передачи	Формула для определения волнового сопротивления
	Симметричная двухпроводная линия	$W=\frac{276}{\sqrt{\varepsilon_r}}\lg\frac{2D}{d}, \quad a>2{,}5d;$ $W=276\lg\left[\frac{D}{d}+\sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^2-1}\right]$ для остальных соотношений
	Несимметричная двухпроводная линия	$W=\frac{276}{\sqrt{\varepsilon_r}}\lg\frac{2D}{\sqrt{d_1 d_2}}$
	Коаксиальная линия	$W=\frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}}\lg\frac{D}{d}$
	Симметричная экранированная двухпроводная линия	$W=\frac{276}{\sqrt{\varepsilon_r}}\lg\frac{2a}{d}\,\frac{D^2-a^2}{D^2+a^2},$ $\frac{d}{D}<0{,}25; \quad \frac{a}{d}<\left(1-\frac{2d}{D}\right)$
	Несимметричная полосковая линия	$W=\frac{10^4}{3\sqrt{\varepsilon_r}}\left[7+8{,}83\left(\frac{D}{B}\right)\right]^{-1}$ при $t\ll D \quad D>b$

чей волны (КСВ) и коэффициент отражения. Рассмотрим, как связаны эти коэффициенты с параметрами линии передачи на примере передающей антенны. Допустим, в точках $c'g'$ (рис. 4б) подключен генератор e_r с внутренним сопротивлением Z_i. Мощность от генератора распространяется по линии передачи с волновым сопротивлением W в направлении антенны с входным сопротивлением $Z_{\text{вх а}}$. Если измерить распределение напряжения вдоль линии, то окажется, что в ней имеются минимумы и максимумы амплитуд напряжения, отстоящие друг от друга на четверть длины волны. Образование минимумов и максимумов напряжения связано с тем, что в линии передачи наряду с волной напряжения, идущей от генератора, имеется отраженная волна от нагрузки с определенной амплитудой и фазой, которые зависят от характера входного сопротивления антенны. При идеальном согласовании фидера с антенной отражений нет и вся мощность уходит в антенну. Вдоль линии передачи имеет место одно и то же значение напряжения. Такой режим называется режимом бегущей волны. При коротком замыкании или обрыве антенны происходит полное отражение энергии. В этом случае распределение напряжения вдоль линии периодически повторяется от нуля до максимального значения. Такой режим называется режимом

короткого замыкания или холостого хода. На практике они используются для измерения длины волны в линии передачи и составляющих входного сопротивления антенны или какой-либо нагрузки. Интересно заметить, что расстояние между ближайшими минимумами точно соответствует длине волны в линии передачи.

Итак, наличие падающей и отраженной волн приводит к образованию минимумов и максимумов напряжения вдоль линии. Следовательно, $U_{min} = |U_{\text{пад}}| - |U_{\text{отр}}|$, $U_{max} = |U_{\text{пад}}| + |U_{\text{отр}}|$, и выражения для КБВ и КСВ имеют соответственно вид

$$\text{КБВ} = \frac{U_{min}}{U_{max}} = \frac{|U_{\text{пад}}| - |U_{\text{отр}}|}{|U_{\text{пад}}| + |U_{\text{отр}}|}; \quad \text{КСВ} = \frac{1}{\text{КБВ}}.$$

Таким образом, измерив наибольшее и наименьшее напряжения вдоль линии передачи, можно судить о степени согласованности фидера с антенной. Такие измерения проводятся с помощью специальных измерительных линий.

Коэффициент отражения представляет собой отношение амплитуд падающей и отраженной волн. Измерение падающей и отраженной волн проводится специальными устройствами, называемыми направленными ответвителями.

Для качественного приема телевизионных программ удовлетворительным считается условие КБВ$\geqslant$0,5. Нетрудно заметить, что рассогласованность линии передачи с антенной приводит к дополнительным потерям. Поэтому коэффициент полезного действия линии передачи в общем случае зависит как от потерь в диэлектрике, так и от уровня согласования. Формула для вычисления КПД линии передачи имеет вид

$$\eta = \eta_{max} \frac{4\text{КБВ}}{(1 + \text{КБВ})^2 - (1 - \text{КБВ})^2 \eta_{max}}, \qquad (4)$$

где $\eta_{max} = 10^{-\beta l/20}$;

η_{max} — коэффициент полезного действия без учета потерь на рассогласование; β — затухание линии передачи, дБ/м; l — длина линии передачи, м; КБВ — коэффициент бегущей волны.

Рассмотрим выбор требуемых параметров с точки зрения направленных свойств.

В зависимости от удаления телевизионного центра от места приема имеют место три наиболее характерные зоны: освещенная зона, зона тени и зона полутени. Освещенная зона ограничена пределами прямой видимости. Основное содержание задачи обеспечения приема телевидения сводится к определению минимального коэффициента усиления, когда напряжение на входе антенны составляет величину, которую приемное устройство способно выделить на фоне собственных и внешних шумов. Это напряжение зависит от высоты передающей и приемной антенн, коэффициентов усиления приемной и передающей антенн, мощности передатчика и средней длины волны.

Пользуясь статистическими данными МККР для неровной среднепересеченной местности, можно ориентировочно рассчитывать требуемый коэффициент усиле-

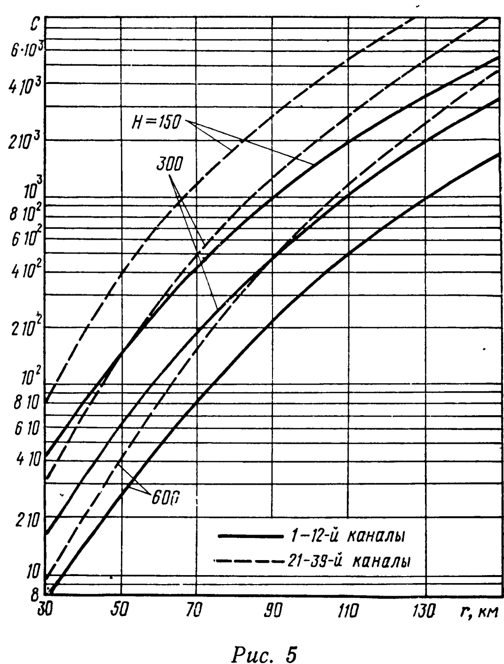


Рис. 5

ния приемной антенны. На рис. 5 представлены упрощенные кривые, являющиеся функцией частоты, расстояния между телецентром и пунктом приема, требуемого превышения полезного сигнала над шумами, коэффициента шума приемника и т. д. Так как коэффициент шума телевизионных приемников колеблется в пределах 8—20 дБ, то при расчете он был принят равным 10 дБ. Отношение уровня сигнала к мощности шумов на выходе видеоусилителя взято равным 44 дБ, высота приемной антенны 10 м, а полоса частот принимаемого сигнала 6 МГц. В соответствии с представленными на рис. 5 зависимостями некоторого обобщенного коэффициента C от расстояния формула для определения требуемого коэффициента усиления имеет вид

$$K_{\text{пр}} \geqslant C/1{,}64\lambda\sqrt{P_0 K_{\text{пер}}}. \qquad (5)$$

где $K_{\text{пр}}$, $K_{\text{пер}}$ — коэффициенты усиления приемной и передающей антенн относительно полуволнового вибратора; P_0 — мощность передатчика, отнесенная к 1 кВт; λ — средняя длина волны канала.

Являясь простой, приведенная методика определения минимального коэффициента усиления приемной антенны дает более или менее удовлетворительные результаты лишь для относительно ровной местности. Сложнее обстоит дело, если необходим расчет требуемого усиления антенны для холмистых и горных районов. Если высоту неровностей Δh определить как расстояние между линиями, перекрывающими 10% расстояния и 90% расстояния на протяжении от 10 до 50 км от передатчика соответственно, то можно ввести поправки в требуемый коэффициент усиления вплоть до $\Delta h = 500$ м.

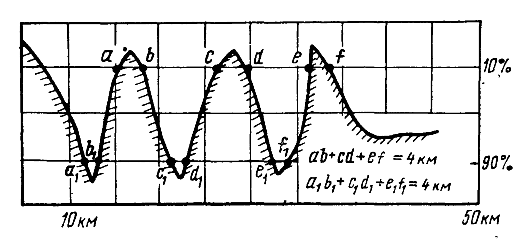


Рис. 6

На рис. 6 представлено схематично определение Δh. В табл. 3 приведены средние значения поправочного коэффициента к коэффициенту усиления, полученному по формуле.

Таблица 3

Расстояние до передатчика, км	50	100	200	400
Поправочный коэффициент, дБ, на частотах, МГц:				
150—250	0	2,5—4	5—10	8—18
450—1000	0	3—6	7—14	12—24

В поправочных коэффициентах меньшему значению следует отдавать предпочтение при расстоянии ближе к $r = 200$ км, а большему — при расстоянии ближе к 100 км. Таким образом принято классифицировать степень неровностей в рекомендациях МККР. Промежуточные значения могут быть найдены путем интерполяции. Вычисленный по формуле требуемый коэффициент усиления должен быть выражен в децибелах, а к полученному значению надо добавить поправочный коэффициент.

С учетом всех требований необходимо выбирать минимально допустимое значение коэффициента усиления антенны. В общем случае формула для расчета имеет вид

$$D_{\text{треб}} \geqslant 10\lg(C/1{,}64\lambda\sqrt{P_0 K_{\text{пер}}}) + \Delta K - 10\lg\eta. \qquad (6)$$

Определив по этой формуле коэффициент направленного действия D, можно определить соотношение между шириной диаграмм направленности в E- и H-плоскостях.

Из формулы (3) однозначно определяется произведение $\theta_E \theta_H$, тогда как для выбора конструкции антенны необходимо знать требуемую ширину диаграмм направленности в E- и H-плоскостях. Легко видеть, что нужного произведения $\theta_E \theta_H$ можно достичь различными путями. В качестве критериев можно предъявить ряд требований. Например, при необходимости приема телевизионных программ с двух телецентров, расположенных в углу раскрыва 90—100°, целесообразно в E-плоскости иметь возможно более широкую диаграмму направленности, а требуемую величину достичь путем сужения диаграммы направленности в H-плоскости. Аналогичные ситуации могут быть при приеме в горных районах и т. п.

Правильный выбор параметров антенны и соответственно расчет основных геометрических соотношений еще не гарантируют уверенного приема в течение длительного промежутка времени и в различных климатических условиях. Антенна должна быть рассчитана применительно к реальным условиям работы. А это означает, что параметры антенны не должны значительно ухудшаться при атмосферных воздействиях, которые отличаются большим многообразием. К наиболее опасным воздействиям следует отнести ветровые нагрузки, осадки в виде дождя и мокрого снега и гололед. Рассмотрим кратко механизм изменения параметров антенн при воздействии указанных атмосферных явлений на примере простейшей антенны — симметричного вибратора, расположенного около рефлектора.

При воздействии ветра происходит колебание антенного устройства в целом и колебание отдельных частей антенны относительно друг друга, если конструкция недостаточно жесткая. Это приводит к изменениям диаграмм направленности в E- и H-плоскостях, а следовательно, к паразитной амплитудной модуляции принимаемого сигнала. Механизм паразитной модуляции носит сложный характер. С одной стороны, это модуляция диаграммой направленности, так как максимум диаграммы отклоняется от направления прихода принимаемого сигнала. При значительных колебаниях антенно-мачтового устройства и острой диаграмме направленности модуляция может быть значительной. С другой стороны, в связи с многолучевым распространением радиоволн, и в особенности при дальнем приеме сигналов телевизионного вещания, в антенне выделяется сумма сигналов, фаза которых изменяется случайным образом при порывах ветра. В результате в антенне происходит интерференция случайных сигналов, изменение суммарного сигнала может быть значительным. Для уменьшения влияния ветровых воздействий необходимо антенно-мачтовое устройство выполнять с возможно меньшей парусностью и возможно более жестким. Ветровые воздействия приводят не только к описанным выше явлениям. Наиболее неприятным следствием воздействия ветра следует считать возникновение контактных помех. Особенно это проявляется при приеме вблизи различного рода передающих устройств. При падении электромагнитной волны любой природы на металлические проводники с нестационарными контактами, например на антенно-мачтовое устройство с нежесткими контактами, происходит модулированное рассеяние электромагнитных волн, имеющее в своем составе широкий частотный спектр. При этом частота мешающего передатчика может отстоять довольно далеко от частот принимаемого телевизионного сигнала. В связи с широким спектром переизлученного поля будет происходить выделение мешающей ЭДС на зажимах антенны. Устранение этого вредного влияния аппаратурными методами весьма затруднительно. Однако меры для предупреждения образования контактных помех принять не сложно. С этой целью необходимо внимательно проанализировать все металлические сочленения в антенне, мачте, оттяжках. В случае невозможности выполнить хороший электрический контакт целесообразно поставить электрическую перемычку. Наиболее опасные места с точки зрения возникновения контактных помех могут чаще всего быть на рефлекторе, излучателе, мачте и в оттяжках. На рис. 7 показаны эти места (*а*), механизм возникновения помех (*б*) и способы их устранения (*в*).

Следовательно, ветровые воздействия на антенно-мачтовое устройство приводят к возникновению паразитной модуляции сигнала и при работе в непосредственной близости от передающего устройства — к возникновению контактных

помех. Наиболее эффективными способами борьбы являются: стабилизация положения антенны на мачте с помощью оттяжек и надежного механического крепления всех элементов конструкции, надежный электрический контакт в местах сочленения элементов конструкции (если это не удается выполнить, то целесообразно ставить блокирующую перемычку, длина которой не должна превышать $\lambda_{min}/8$; здесь λ_{min} — наименьшая длина волн рабочего диапазона).

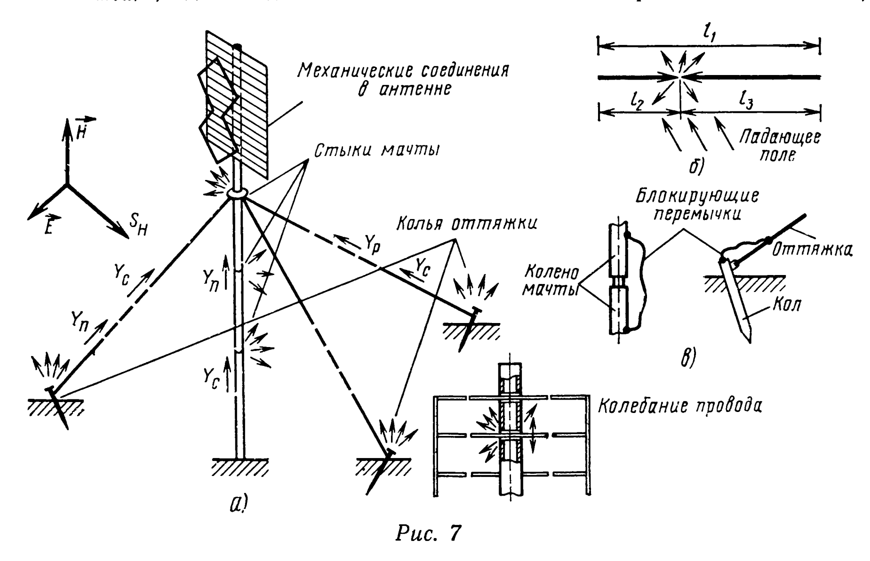


Рис. 7

Другое, наиболее частое атмосферное воздействие на параметры антенн — осадки в виде дождя и мокрого снега. Что же представляет собой дождь и мокрый снег с точки зрения воздействия на электрические параметры? Дождь выпадает в виде капель той или иной интенсивности. Представить состояние, когда антенна сплошь покрывается водой, немыслимо, так как капли, накапливаясь на антенне, увеличиваются в размерах и падают. Если зафиксировать в дождь состояние проводников антенны, то можно увидеть на ее поверхности отдельные капли, которые практически не оказывают заметного влияния на согласование антенн с фидером и на направленные свойства. Другое дело, если вода попадает в фидеры и его сочленения. Уровень согласования антенны может упасть до нуля, между элементами решетки наблюдается перераспределение энергии непредсказуемым образом. Уровень сигнала на выходе антенны изменяется по случайному закону. Дело в данном случае усугубляется тем, что параметры длительное время изменяются и могут не восстановиться, так как попавшая вода производит интенсивное химическое воздействие на медные проводники и места их спайки. При наличии продольной изоляции в кабеле положение может быть как-то исправлено, если имеется возможность перебрать места соединения кабелей друг с другом и антенной. Если же кабели не имеют продольной изоляции, то их приходится практически выбрасывать и заменять новыми. Сильное воздействие воды, попавшей в распределительные кабели и фидер снижения, объясняется тем, что вода, как диэлектрик, имеет большую диэлектрическую проницаемость. Будучи в кабеле, она растворяет в себе различные примеси и начинает обладать большими потерями. Это приводит к потерям и значительным переотражениям.

Несмотря на то что мокрый снег имеет меньшую диэлектрическую проницаемость, чем чистая вода, воздействие на работу антенн он оказывает значительно большее. Мокрый снег налипает на антенну большими массами. Это приводит к изменению распределения тока на антенне и сильным отражениям на проводниках. В результате происходит изменение входного сопротивления, как следствие ухудшения согласования с фидером, и искажение диаграмм направленности. Избежать налипания снега можно путем создания обтекаемой конструкции и пу-

тем периодического встряхивания антенно-мачтового устройства при появлении мокрого снега. Что касается влияния мокрого снега на распределительные и подводящие фидеры, то уже потому, что попадание в элементы сочленения менее вероятно, так как вода находится в связанном состоянии, опасность воздействия на параметры много меньше, чем при попадании в эти элементы воды. Кроме рассмотренных воздействий, представляет несомненный интерес и такое явление, как оледенение. Это довольно устойчивое и частое атмосферное явление, которое может сохраняться во времени на проводниках антенн. С механической точки зрения оледенение приводит к увеличению массы антенного сооружения, изгибу проводников и существенному увеличению парусности. Чаще всего оледенение и ветер ответственны за поломку антенных устройств.

Кроме механических повреждений, оледенение приводит к существенному изменению электрических параметров антенного устройства. Остановимся на этом подробнее. Лед, как одно из состояний воды при низкой температуре, обладает хорошими диэлектрическими свойствами ($\varepsilon = 3{,}2$) и малыми потерями. При оледенении проводников происходит так называемое укорочение волны. В частности, при покрытии симметричного вибратора слоем льда различной толщины, происходит понижение резонансной частоты в сторону более низких частот. Степень понижения резонансной частоты зависит от толщины льда на проводниках антенны. Предельным значением укорочения волны является величина укорочения, равная $\sqrt{\varepsilon}$. Если при использовании широкополосных антенн укорочение волны на проводниках антенн приводит просто к смещению диапазона и согласование с фидером может не ухудшиться, то при воздействии оледенения на резонансные антенны происходит резкое ухудшение как входных характеристик, так и направленных свойств. Особенно сильно направленные свойства меняются в антеннах типа «волновой канал», так как они зависят от фазировки токов на излучателях. Наиболее простой способ снижения влияния оледенения состоит в обеспечении некоторого запаса в области верхних частот, так как наиболее сильно ухудшаются параметры именно в этой области. Другой способ сохранения состоит в конструировании поперечно-излучающих решеток вместо продольных, так как в этом случае легче сохранить направленные свойства антенны.

ДИАПАЗОННАЯ НАПРАВЛЕННАЯ АНТЕННА

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Описание принципа действия диапазонной направленной антенны целесообразно начать с хорошо известных простейших антенн. Наиболее простой и широко известной антенной является симметричный полуволновый вибратор (рис. 8*а*). Симметричный вибратор представляет собой линейный проводник, в центре которого (в месте его разрыва) подключается через фидер приемное устройство. Плечи вибратора имеют одинаковую длину и вместе образуют симметричную антенну. Работу симметричного вибратора легче понять при ее работе в режиме передачи.

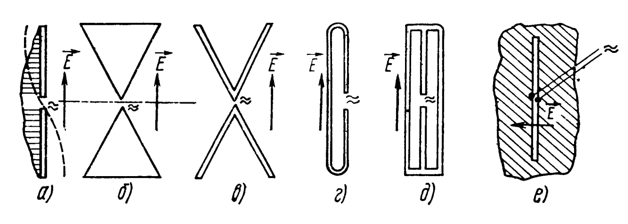


Рис. 8

При включении генератора происходит излучение мощности в свободное пространство, а на вибраторе образуется некоторое распределение тока и напряжения.

На рис. 8*а* представлен характер распределения тока и напряжения на вибраторе. Как видно из рисунка, на вибраторе имеются стоячие волны напряжения и тока. В центре вибратора максимален ток и минимально напряжение, тогда как на концах вибратора ток спадает до нуля, а напряжение максимально. Резонансные свойства вибратора тем резче выражены, чем тоньше вибратор. При увеличении его толщины, выполнении его из металлической плоскости (рис. 8*б*) или из нескольких проводников (рис. 8*в*) происходит более плавное изменение напряжения и тока вдоль антенны и тем самым вибратор становится более широкополосным. Входное сопротивление полуволнового вибратора составляет $Z_{вх}=73{,}2+i42{,}5$ Ом, т. е. носит индуктивный характер. Практически его выбирают несколько короче половины длины волны, чтобы сопротивление носило чисто активный характер. Степень укорочения вибратора для настройки в резонанс зависит от толщины вибратора и наличия металлических и диэлектрических элементов конструкции в его непосредственной близости. Обычно оно составляет 5—10%. Диаграмма направленности в E-плоскости является направленной, по форме близкой к синусоидальной, а в H-плоскости — круговой.

Разновидности вибраторов, показанные на рис. 8*б—д* в отношении направленных свойств, аналогичны классическому вибратору, коэффициент направленного действия таких антенн КНД=2,14 дБ.

Таким образом, различного рода конструктивные ухищрения направлены в первую очередь на улучшение диапазонных свойств — относительное сохранение параметров в широкой полосе частот. Чаще всего это удается благодаря применению больших токопроводящих поверхностей, которые приводят к необходимости их закрепления и решения задачи уменьшения парусности антенны.

Из других разновидностей полуволнового вибратора отметим представленные на рис. 8*г* и *д*, которые, обладая аналогичными симметричному полуволновому вибратору направленными свойствами, позволяют несколько улучшить широкополосность и повысить активную составляющую входного сопротивления до 300 Ом, что весьма удобно при сопряжении его с симметрирующим устройством. Кроме того, в антенне появляется точка нулевого потенциала, что способствует удобному креплению вибратора на металлические штанги без применения диэлектрика и без нарушения характеристик антенны.

Диапазонная направленная антенна состоит из двух ромбовидных ячеек, которые находятся в одной плоскости. Разомкнутые по диагонали ромбовидные ячейки соединены соответствующим образом друг с другом с целью получения правильной фазировки. Чтобы понять принцип действия и построения диапазонной направленной антенны, рассмотрим известные антенны.

Представим себе три параллельных полуволновых вибратора (рис. 9*а*), размещенных в одной плоскости на расстоянии d друг от друга. Такая конструкция антенны обеспечивает направленность в плоскости E (в плоскости вибраторов) и в плоскости H, так как вибраторы разнесены на расстояние d друг от

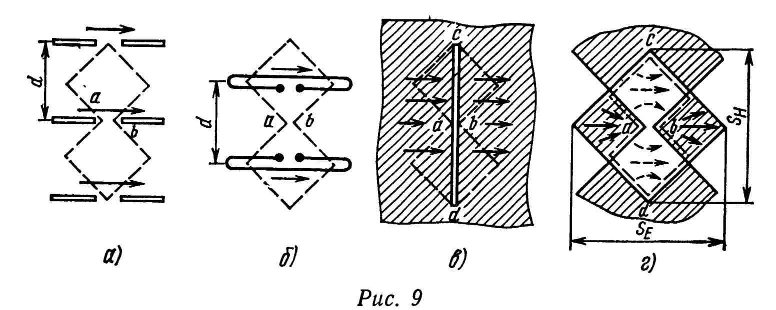


Рис. 9

друга. Видоизменим конструкцию антенн, как это показано на рис. 9*а* пунктирными линиями. В этом случае распределение тока и напряжения в принципе останется неизменным, а следовательно, и направленные свойства будут аналогичны системе из двух вибраторов. Соединив вершины изогнутых проводников, имеющих потенциалы одного знака и нулевые значения тока, мы тем самым

уравняем потенциалы. При этом направленными свойствами антенна будет обладать в обоих плоскостях, и конструкция в первом приближении аналогична системе из двух вибраторов, расположенных в одной плоскости на расстоянии d друг от друга.

С другой стороны, направленные свойства петлевого вибратора аналогичны обычному линейному. Образуем антенную систему из двух петлевых вибраторов, как это показано на рис. 9*б*. Характерным для петлевого вибратора является наличие точки нулевого потенциала, в нашем случае точки cd. Деформируем вибраторы, превратив их в ромбовидные ячейки. В результате получим две ромбовидные ячейки, имеющие точки нулевого потенциала. Соединив соответственно точки питания, получим конфигурацию диапазонной направленной антенны с двумя симметричными точками нулевого потенциала $c'd'$ и с направленными свойствами в обоих плоскостях поляризации.

Если направленные свойства объясняются эквивалентностью диапазонной антенны некоторой системе, состоящей из ряда вибраторов, то для объяснения диапазонных свойств подобной аналогии недостаточно. С этой целью обратимся к электродинамическому принципу двойственной аналогии. Суть его состоит в том, что электромагнитное поле имеет двойственный характер: электрическое поле — магнитное поле, электрический ток — магнитный ток и т. д. Соответственно этому существует электрический вибратор и магнитный вибратор (см. рис. 8*е* и 9*в*), которые излучают поля, аналогичные друг другу с той лишь разницей, что структура электрического поля одного аналогична структуре магнитного поля другого и наоборот. Этим свойством широко пользуются при решении электродинамических задач в области антенн и теории электромагнитного поля. Основным следствием упомянутого принципа является постоянство входного сопротивления в системах, состоящих из двойственных аналогов, к примеру, из электрического вибратора и двойственного ему магнитного вибратора (щелевой излучатель на рис. 9*в*). На этом принципе построен целый класс частотно-независимых антенн.

Диапазонную направленную антенну можно рассматривать в какой-то степени как щелевую. Действительно, щелевая антенна (см. рис. 9*в*), будучи деформирована, как это показано пунктиром, образует конфигурацию диапазонной антенны с той лишь разницей, что направленными свойствами в E-плоскости она не обладает. Это связано с тем, что в данном случае за излучение ответственна только щель (магнитный вибратор), а поля, свойственные электрическому вибратору, в данном случае не возбуждаются. С целью совмещения свойств щелевой антенны и симметричного вибратора представим хорошо проводящую бесконечную плоскость, на которой произведены вырезы, как это показано на рис. 9*г*. Особенностью представленной структуры является аналогия между проводящей конфигурацией (заштрихованная область) и дополняющей ее щелью. При этом достаточно повернуть проводящую плоскость на 90°, чтобы она заполнила незаштрихованную область. При подключении генератора к точкам a, b данная антенна излучает поля, свойственные как щелевой антенне, так и электрическому вибратору. Представленная структура, оказывается, обладает некоторыми интересными свойствами. Прежде всего, ее относительное постоянство направленных свойств и входного сопротивления и соответственно этому относительная некритичность параметров от изменения размеров. При изучении распределения тока на подобных структурах было выявлено быстрое затухание тока уже при незначительном удалении от пунктирной линии, определяющей основную геометрию антенны. Это обстоятельство позволило перейти к конфигурации антенны, обозначенной пунктиром на рис. 9*г*. Кстати, эта конфигурация аналогична рассмотренным конструкциям, построенным в соответствии с рис. 9*а, в*. Таким образом, представления, описанные выше, хотя и не отличаются строгостью, позволяют объяснить сложные процессы формирования излучения в антенне и ее диапазонность.

Рассмотрим работу диапазонной направленной антенны с точки зрения распределения тока на ее проводниках. С этой целью, допустим, что антенна работает в режиме передачи и высокочастотная энергия подводится к точкам питания a, b. При анализе свойств антенны в широкой полосе частот можно выделить три характерных режима работы, область низких частот (длинноволновая область), промежуточная область и область повышенных частот (коротковолновая область). Эти области можно выразить через характерный размер антенны

в длинах волн (S_H/λ). Пусть $S_H/\lambda \ll 0{,}5$. Это означает, что размер щели много меньше длины волны, и она представляет собой весьма высокое реактивное сопротивление. Малые размеры щели приводят практически к полному рассогласованию с фидерным трактом.

Сопротивление излучения оказывается небольшим, входное сопротивление сильно зависит от частоты. Диаграммы направленности в E-плоскости стремятся по форме к $\cos\theta$, где θ — текущий угол, а в H-плоскости — приближается к круговой. Согласование с фидером в этом режиме возможно в узкой полосе частот.

Распределение тока на проводниках антенны имеет резко выраженный характер стоячих волн с максимальным значением тока в точках нулевого потенциала и максимальной амплитудой напряжения в точка c, d. В щели антенны имеет место напряжение с максимумом в вершинах рамок. Описанный режим на практике может быть использован при необходимости уменьшения размеров антенны и при работе в узкой полосе частот. При увеличении частоты соотношение S_H/λ увеличивается, а величина реактивной составляющей существенно снижается. При $S_H/\lambda \leqslant 0{,}4 \div 0{,}45$ активная составляющая входного сопротивления достигает 70—100 Ом, а реактивная составляющая становится небольшой, что позволяет получать хорошее согласование с фидером в широкой полосе частот. В этом случае на проводниках антенны кроме стоячей волны появляется бегущая. Диаграммы направленности несколько сужаются как в E-, так и в H-плоскостях. В частности, ширина диаграммы направленности на уровне $0{,}7E_{max}$ в E-плоскости составляет 80—90°, а в H-плоскости 110—120°. Дальнейшее увеличение приводит ко все большему вкладу в режим излучения бегущей волны. Диаграммы направленности становятся у́же, однако появляется заметное боковое излучение.

Оптимальный режим работы диапазонной антенны имеет место в диапазоне $(0{,}4 \div 0{,}45) < S_H/\lambda < (1{,}0 \div 1{,}5)$. Достаточно широкие пределы изменения размеров антенны объясняются ее конструктивными особенностями. Рассмотрим подробнее основные свойства диапазонной направленной антенны и от чего они зависят.

Направленность диапазонной антенны определяется ее основными размерами. В то же время более тонкие особенности диаграммы направленности такие, как их изменение с частотой, зависят от конструкции антенны. В частности, если антенна выполнена из тонких проводников, то стоячие волны тока на ней оказываются более выраженными. Следовательно, изменение диаграммы направленности более резко выражено с изменением частоты. Диаграммы направленности антенн из более толстых проводников более широкие, а их изменение по диапазону незначительно. Эти обстоятельства необходимо учитывать при создании той или иной конструкции антенны.

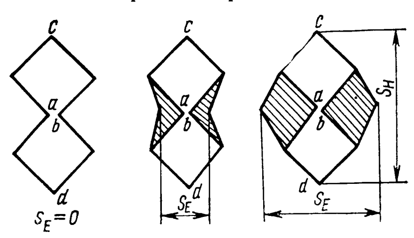


Рис. 10

От соотношения размеров S_E и S_H и от длины волны зависят направленные свойства антенны. На рис. 10 представлены три варианта антенны различной конфигурации, заданные указанными размерами. На рис. 11 представлены диаграммы направленности, снятые экспериментально в двух плоскостях поляризации: (*а* — для $S_E/S_H=0$; *б* — для $S_E/S_H=2/3$). На рисунке сплошные линии относятся к плоскости E, пунктирные — к плоскости H. Несмотря на заметное расширение диаграммы направленности при $S_E/S_H=2/3$ по сравнению с $S_E/S_H=0$, на практике часто отдают предпочтение первому случаю. Это связано с тем, что в этом случае удается получить более высокое согласование в широкой полосе частот. Ширина диаграммы направленности в диапазоне $S_H/\lambda=0{,}5 \div 1{,}1$ изменяется в плоскости E в пределах 72—84°, для $S_E/S_H=0$ и 56—80° для $S_E/S_H=2/3$, а в плоскости H — соответственно 46—80° и 87—126°. Из представленных кривых видно, что сужение диаграмм направленности происходит монотонно по мере увеличения S_H/λ.

Более наглядное представление о направленных свойствах антенны можно получить из зависимостей от относительного размера антенны (рис. 12). Кривые

а)

б)

Рис. 11

в данном случае представлены для двух вариантов (*1* — $S_E/S_H=0$ и *2* — $S_E/S_H=2/3$). Как видно из рис. 12, при $S_E/S_H=0$ КНД изменяется от 2,8 до 4,2 дБ, тогда как при $S_E/S_H=2/3$ он лежит в пределах 2—3,4 дБ.

В среднем при $S_H/\lambda=0{,}5\div1{,}0$ КНД для случая $S_H/\lambda=0{,}5$ выше на 0,8 дБ. При выборе промежуточных вариантов конструктивного выполнения антенн коэффициент направленного действия также принимает значения, лежащие в соответствующих вариантам пределах. Указанное изменение основных параметров антенн позволяет рассчитывать их по предъявленным требованиям.

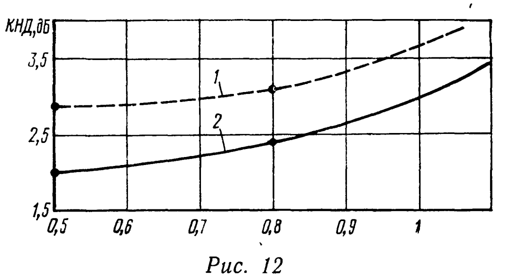


Рис. 12

С пространственными характеристиками антенны тесно связан и такой параметр, как поляризация излученной (или принимаемой) волны. Если поляризация

антенны совпадает с поляризацией принимаемой волны, то поляризационного проигрыша в приеме энергии от телецентра нет.

Экспериментально установлено, что уровень паразитной поляризации ниже основной не менее чем на 25 дБ в диапазоне $S_H/\lambda=0{,}4\div1{,}5$. Основным условием для получения небольшого уровня паразитной поляризации является геометрическая симметрия антенны как в E-, так и в H-плоскостях, а также возможно более тонкие проводники, из которых выполняется конструкция антенны.

До сих пор мы рассматривали пространственные свойства антенны, однако при необходимости ее согласования с фидером решающими являются и входные параметры. Входное сопротивление антенны может быть определено как отношение напряжения на входе антенны к току в этих же точках (точки cd на рис. 4).

Входное сопротивление в общем случае носит комплексный характер. Физически это значит, что при подведении к точкам высокочастотной мощности P часть мощности уходит в свободное пространство, а другая отражается и по линии передачи уходит обратно в генератор. Аналогично обстоит дело и в режиме работы антенны на прием — антенной воспринимается не вся мощность, часть ее отражается от антенны. Это — так называемая реактивная мощность, обусловленная реактивным сопротивлением антенны. Если входное сопротивление антенны носит активный характер и численно равно волновому сопротивлению фидера, то сопротивление в любом сечении линии одно и то же и равно волновому сопротивлению линии. Это — режим полного согласования антенны. Как показывают результаты измерения входного сопротивления для диапазонной направленной антенны, ее сопротивление изменяется незначительно в широкой полосе частот. В частности, если симметричный вибратор удовлетворительно сохраняет согласование в полосе частот 10—20%, то диапазонная антенна при уровне согласования КБВ$=0{,}5\div0{,}6$ позволяет сохранять его в полосе частот 100—200%. Этим объясняется устойчивость параметров при оледенении. Например, при оледенении происходит смещение в область более низких частот диапазона работы антенны как с направленными характеристиками, так и с входными. Однако из-за хороших диапазонных свойств антенны, это смещение оказывается в полосе пропускания антенны и потому существенного ухудшения работы не происходит.

Достаточно сказать, что коэффициент бегущей волны одиночной антенны с рефлектором изменяется от 0,6 до 0,5 при оледенении на сторону провода 5 мм и до 0,4 при оледенении на 12 мм. При этом существенных изменений в диаграммах направленности антенны не происходит. При тех же воздействиях оледенения на антенну типа «волновой канал» происходит снижение уровня согласования от 0,6 до 0,3, а уровень обратного излучения ухудшается от $0{,}1E_{max}$ до до $0{,}55E_{max}$. Эти примеры показывают, насколько эффективно применение диапазонной антенны в сложных климатических районах. Основным правилом при выборе размеров диапазонной антенны с учетом ее возможности работы в условиях оледенения является минимальное значение S_H/λ_{max} для обеспечения, по возможности, большого запаса в области верхних частот. При работе антенны с перекрытием частот меньше двух этой проблемы вообще не возникает, так как достаточная механическая прочность конструкции антенны гарантирует нормальную работу антенны в условиях даже сильного оледенения и при наличии мокрого снега.

ВОПРОСЫ СОГЛАСОВАНИЯ АНТЕНН И СПОСОБЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ КАБЕЛЕЙ

При подключении к линии генератора высокочастотной мощности можно обнаружить в линии распространение волн тока и напряжения. Это может быть обнаружено либо электрическим зондом (волны напряжения), либо магнитной рамкой (волны тока). Если длина линии достаточно велика по сравнению с длиной волны, то, измеряя распределение тока и напряжения вдоль линии, можно обнаружить волновой процесс с определенными минимумами, максимумами и расстояниями между ними. Измеряя отношение напряжения к току в любом сечении линии, можно обнаружить периодичность этих отношений. Оказывается, сопротивление U_i/I_i имеет период, равный половине длины волны. Условием

максимальной передачи мощности является равенство входного сопротивления антенны волновому сопротивлению линии передачи и входному сопротивлению телевизионного приемника. В этом случае имеет место режим бегущей волны и максимальная передача энергии из антенны на вход приемника. Практически это условие если и может быть выполнено, то лишь в отдельных точках диапазона. На практике обычно задаются некоторой допустимой величиной уровня согласования (КБВ). Чем уже диапазон работы антенного устройства, тем легче получить высокий уровень согласования. В частности, в одноканальной антенне относительная полоса пропускания на 1-м телевизионном канале составляет $\Delta f/f_{ср}=13\%$, на 12-м канале составляет лишь 3%. Естественно, получение высокого согласования в этих случаях не представляет особых затруднений и в качестве антенны лучше использовать обычный симметричный вибратор, как наиболее простую конструкцию.

В табл. 4 приведены результаты расчета затухания (в разах) в зависимости от коэффициента бегущей волны. Надо заметить, что в связи с изменением уровня согласования с частотой, затухание на каждой частоте различно. Это приводит к различному прохождению составляющих частотного спектра сигнала (это явление называют дисперсией), что может исказить изображение. Поэтому более или менее приемлемым уровнем согласования следует считать КБВ$\geqslant$0,4, где потери энергии уже составляют 22%.

Таблица 4

КБВ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
A	3,01	1,8	1,41	1,22	1,12	1,07	1,03	1,01	0,001	1,0

Рассмотрим линии передачи, которые часто называют фидерами или кабелями. Линии передачи могут быть симметричными, несимметричными и коаксиальными. Каждый тип линий имеет свои преимущества и недостатки, и поэтому в каждом отдельном случае применение того или иного типа требует особого внимания. Чаще всего используют коаксиальные линии передачи. В принципе это несимметричная линия, представляющая собой конструкцию в виде металлической трубы с центральным проводником по ее центральной оси. Конструктивно оболочку, коаксиального кабеля выполняют из плетеного чулка, наполненного изнутри диэлектриком, в центре которого размещается центральный проводник. В качестве диэлектрика применяют полиэтилен, реже фторопласт-4. В табл. 2 были показаны сечения основных линий передачи. Параметры коаксиальной линии определяются геометрическими размерами *d*, *D* и свойствами заполняющего полость диэлектрика. Волновое сопротивление определяется отношением D/d и диэлектрической проницаемостью диэлектрика ε_r. Как видно из выражения, приведенного в табл. 2, для вычисления волнового сопротивления его значение уменьшается в $\sqrt{\varepsilon_r}$ раз. Это необходимо учитывать при изготовлении отрезков линии в радиолюбительской практике.

Часто необходимо вычислять электрическую длину линии. С этой целью необходимо знать геометрическую длину $l_г$, а электрическая длина находится путем умножения в $\sqrt{\varepsilon_r}$ раз (коэффициент укорочения!) геометрической длины. Для нахождения электрической длины в длинах волн и далее в радианах необходимо найти электрическую длину в длинах волн $l_э/\lambda$, после чего из полученного значения вычесть целое число полуволн (в длинах волн это 0,5) и полученное значение умножить на 2π. Например, длина кабеля $l_г=2$ м, длина волны $\lambda=5$ м, кабель заполнен полиэтиленом, имеющим относительную диэлектрическую проницаемость, равную 2,5. Длина кабеля в длинах волн с учетом укорочения будет $l_э=0{,}633$ или с учетом периодичности — через половину длины волны $l_э=0{,}633\div0{,}5=0{,}133$; и окончательно: $2\pi l/\lambda\sqrt{\varepsilon_r}=0{,}835$ рад. Все электриче-

ские соотношения в линии передачи периодически повторяются через половину длины волны в кабеле. Выбирая различные сечения линии и варьируя ее волновым сопротивлением, можно в широких пределах изменять входное сопротивление линии, нагруженной на конце тем или иным сопротивлением. Это свойство линии передачи используют при трансформации сопротивлений. Реально существующие коаксиальные фидеры характеризуются затуханием. Основные типы антенных кабелей и их затухание применительно к метровому и дециметровому диапазонам волн приведены в табл. 5.

Таблица 5

Тип кабеля	Затухание, дБ/м, на средней частоте канала									
	1	3	5	8	12	21	25	29	33	37
РК 75-4-11	0,07	0,09	0,11	0,17	0,18	0,3	0,31	0,32	0,33	0,34
РК 75-9-13	0,04	0,55	0,06	0,095	0,10	0,16	0,17	0,18	0,185	0,19
РК 50-4-11	0,07	0,095	0,11	0,17	0,18	0,29	0,30	0,305	0,31	0,32

Как видно из таблицы, затухание в линии определяется типом кабеля и номером канала. Чем выше частота, тем больше затухание в фидере. Волновое сопротивление зависит от соотношения внутреннего и внешнего проводников, а также от свойств диэлектрика, заполняющего фидер. Наиболее часто используются фидеры с волновым сопротивлением 75 Ом.

Симметричные линии передачи в настоящее время используются не столь часто. Наиболее часто применяется кабель типа КАТВ, представляющий собой двухпроводную линию, каждый проводник которой состоит из семи медных проволок. Вся конструкция кабеля покрыта полихлорвиниловым пластикатом.

Волновое сопротивление симметричной двухпроводной линии из круглых проводников может быть вычислено по формулам табл. 2. Если симметричная линия образуется из плоских шин шириной D и расстоянием между ними d, причем широкие стороны шины обращены друг к другу, то волновое сопротивление вычисляется из выражения: $W = 120\pi d/D$.

Надо отметить, что открытые двухпроводные линии можно применять лишь при приеме программ телевидения до 5-го канала, так как на частотах выше 100 МГц уже имеет место значительное излучение с проводников линии. В настоящее время промышленностью выпускаются симметричные экранированные двухпроводные линии, однако в розничную продажу они не поступают, и потому надо уметь изготовить некоторые из них из коаксиальных кабелей. На рис. 13 приведены примеры реализации на основе стандартных кабелей. При смене

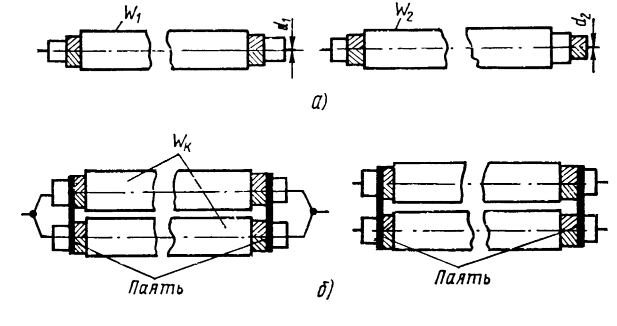


Рис. 13

внутреннего проводника в коаксиальной линии происходит изменение его волнового сопротивления. Практически это осуществляется следующим образом. Из не очень длинного отрезка кабеля (длина 20—30 см) извлекается внутренний

проводник. Чтобы операция была менее трудоемкой, внутренний проводник можно несколько подогреть. К одному из концов аккуратно припаивается проволока требуемого сечения, а другой конец закрепляется в тисках. Далее кабель натягивается на другую проволоку. Практически производится операция по замене внутреннего проводника при быстром его разогреве (см. рис. 13*а*). Изменение волнового сопротивления при замене внутреннего проводника может быть подсчитано по следующему выражению:

$$\Delta W = \pm(138/\sqrt{\varepsilon_r})\lg(d_2/d_1),$$

где ΔW — приращение волнового сопротивления коаксиальной экранированной линией с диэлектриком внутри, имеющим диэлектрическую проницаемость ε_r; d_1, d_2 — сечение внутренних проводников, при этом знак «плюс» ставится при $d_2 > d_1$ и «минус» — при $d_2 < d_1$. Практически замену внутреннего проводника производят более тонким.

Изменение волнового сопротивления может быть осуществлено путем параллельного соединения двух и более отрезков коаксиальных кабелей. На рис. 13*б* показан вариант понижения волнового сопротивления. Этот вариант применяется только для понижения волнового сопротивления. Полученный таким образом отрезок линии эквивалентен несимметричной коаксиальной линии ($W_э = W_к/2$). При необходимости конструирования симметричной экранированной линии передачи надо отрезки коаксиального кабеля соединить последовательно (см. рис. 13*в*). В этом случае волновые сопротивления отрезков кабелей суммируются ($W_э = 2W_к$), при этом должны быть выполнены соединения, представленные на рис. 14*а, б, в*.

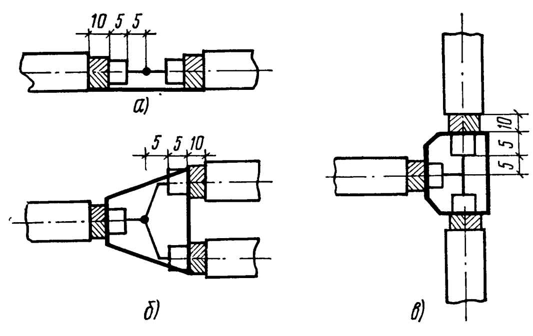


Рис. 14

В табл. 6 представлены возможные значения волновых сопротивлений, которые могут быть получены путем изменения внутренней жилы, последовательного и параллельного соединений на основе стандартных, наиболее широко применяемых коаксиальных кабелей.

Величины волновых сопротивлений, приведенные в табл. 6, на основе стандартных коаксиальных кабелей охватывают практически все требуемые для со-

Таблица 6

Тип кабеля	Волновое сопротивление, ом		
	последовательное соединение отрезков кабеля	параллельное соединение отрезков кабеля	смена внутренней жилы кабеля
РК 50-4-11	100	25	50
РК 75-4-11	150	37,5	75
	симметричная экранированная линия	несимметричная экранированная линия	несимметричная экранированная линия

гласования значения волнового сопротивления. Надо отметить, что проведение тех или иных операций с кабелями требует некоторой осторожности. Необходимо помнить, что при нагреве изоляции кабеля происходит ее оплавление, что приводит к нарушению геометрии кабеля и ухудшению свойств диэлектрика, а это, в свою очередь, увеличивает опасность замыканий внутренней жилы на оплетку и вносит нежелательные неоднородности в линию передачи. Для предохранения диэлектрика при проведении пайки необходимо перед началом работ между оплеткой и диэлектриком поместить кольцо из плотной бумаги, которое по окончании пайки надо удалить.

Пайку необходимо производить по возможности легкоплавким припоем с канифолью, последняя по окончании работ должна быть тщательно удалена с токонесущих поверхностей.

Остановимся на возможных способах соединения коаксиальных кабелей, которые могут быть выполнены в радиолюбительской практике. На рис. 14 приведены наиболее часто встречающиеся случаи стыковки коаксиальных кабелей. Основными условиями, которые должны быть выполнены при монтаже, являются: возможная меньшая неоднородность, герметизация от попадания воды и влаги, прочность соединения. На рис. 15 показан такой способ соединения по операциям на примере стыковки двух коаксиальных кабелей. Кабели *1* приготавливаются, как показано на рис. 15*а*. На длине 25 мм снимается внешняя изоляция кабеля острым ножом. С этой целью выполняется прежде надрез по окружности, а потом по длине. Надрез необходимо контролировать, чтобы не допустить нарушения наружной медной оплетки кабеля. Оплетка далее надрезается по окружности и оставляется на длине порядка 10 мм. После этого на длине 15 мм от края наружной изоляции надрезается по кругу внутренняя полиэтиленовая изоляция. Надрез необходимо произвести таким образом, чтобы не задеть внутреннюю жилу, так как обычно в этом месте происходит ее излом при эксплуатации. После снятия полиэтиленовой изоляции внутренний проводник облуживается по всей длине и кабель готов для последующего соединения с другим, аналогично подготовленным. Для соединения кабелей друг с другом необходимо изготовить детали *2* и *3* (см. рис. 15*а*). Деталь *2* может быть из-

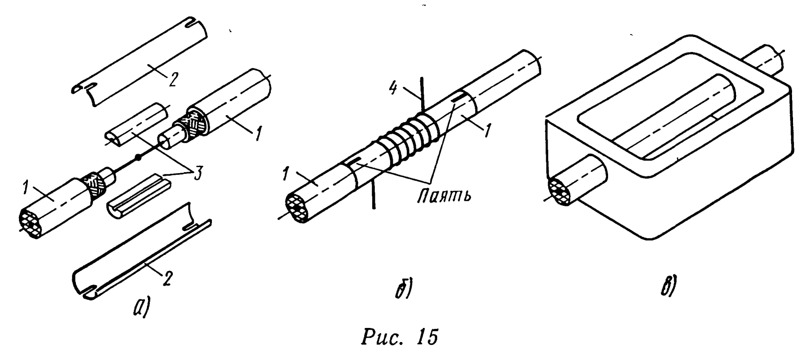


Рис. 15

готовлена из жести или медной фольги, толщиной около 0,5 мм, деталь *3* изготавливается из снятой с кабеля внутренней полиэтиленовой изоляции. Соединение кабеля осуществляется следующим образом. Кабели *1* укладываются в одну из деталей *2*, и производится пайка оплетки к детали *2* через заранее выполненные вырезы. Далее прочно скручиваются внутренние проводники и спаиваются в центре. В область пайки вставляется деталь *3*, в которой по месту делаются углубления таким образом, чтобы при установке деталей *3* внутренняя изоляция была непрерывной между кабелями *1*. После этого может быть установлена деталь *2* и припаяна к наружной оплетке кабеля. Для придания прочности соединению, детали *2* по всей длине целесообразно плотно обмотать прочной нитью или проволокой *4* (рис. 15*б*). При проведении указанных операций электрическое соединение кабелей можно считать выполненным. Следующие операции должны быть направлены на герметизацию соединения и придания прочности. Обе цели могут быть достигнуты с помощью эпоксидного клея, ко-

торый способен затвердевать при нормальной температуре. С этой целью на механически соединенные кабели устанавливается форма из пластилина, как это показано на рис. 15*в*. При установке формы необходимо следить за тем, чтобы соединенные кабели не касались пластилина во избежание нарушения герметизации. Геометрия формы должна быть в виде ванночки, конфигурация ее может быть произвольной и в принципе можно предусмотреть даже элементы для крепления к конструкции или мачте с помощью болтов. В ванночку заливается эпоксидный клей, соответствующим образом подготовленный. Аналогично могут быть изготовлены и более сложные соединения (см. рис. 14*а*, *б*, *в*). Полученное соединение целесообразно покрыть лентой ПХВ или покрыть краской с целью предохранения от солнечной радиации.

Для согласования антенн с кабелем, имеющим волновое сопротивление 75 Ом, необходимо выбрать волновое сопротивление трансформирующего звена равным $W_{\text{тр}} = \sqrt{75 \cdot 100} \approx 85{,}5$ Ом. Заметим, что входное сопротивление антенны принято 100 Ом, следовательно, антенна полагается выполненной по требованию минимальных размеров. Приведем результаты измерений реальной конструкции антенны, где согласование произведено с помощью трансформирующего звена.

Антенное устройство рассчитано на работу с 1-го по 5-й телевизионный каналы. Антенна представляет собой систему из диапазонной направленной антенны, установленной над плоским рефлектором. Общий вид антенны представлен на рис. 16*а*. Основные размеры антенны представлены в табл. 7. Здесь же приведены размеры антенн для приема программ телевидения по 6—12-му телевизионным каналам.

Антенное устройство выполнено из дюралюминиевой трубы Д16Т, однако оно может быть выполнено и из полос. Если излучатель выполнен из пластин, то кабель укрепляют вдоль одного из изгибов от одной из точек нулевого потенциала к точкам питания антенн. При этом присоединение внешнего проводника к полотну антенн обязательно как в точке нулевого потенциала, так и в точке питания в месте выхода кабеля. Такое соединение позволяет избавиться от затекания тока на кабель. При выполнении излучателя из трубы кабель вводят в нее через точку нулевого потенциала.

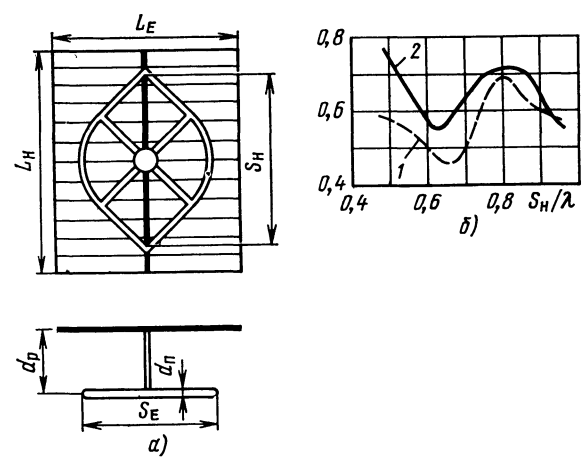


Рис. 16

На рис. 16*б* представлен достигнутый уровень согласования с помощью трансформирующего звена. Сравнение зависимостей *1* и *2* на рис. 16*б* позволяет судить об эффективности согласования в широкой полосе частот.

На рис. 17 показаны основные стадии изготовления трансформирующего звена, которое начинается с кольцевого надреза внешней изоляции на длине 20—25 мм, после чего с конца кабеля снимается наружная изоляция (см. рис.

Таблица 7

Номер канала	Размеры антенн, мм						
	s_H	s_E	d_P	$d_п$	L_H	L_E	$l_{тр}$
1 — 5-й	2570	1750	1000	50	3700	2770	462
6 — 12-й	760	510	300	16	1100	820	135

17*б*). Внешний проводник кабеля (оплетка) сдвигается в сторону, делаются подрезы и снимается часть изоляции с внутреннего проводника (рис. 17*в*). Часть внутреннего проводника после снятия с него изоляции обрезается и вместо него припаивается проводник с сечением, соответствующим требуемому волновому сопротивлению трансформатора (рис. 17*г*). Далее надевается на внутренний проводник изоляция (рис. 17*д*), натягивается оплетка и на ее концы накладывается бандаж из двух-трех витков медной проволоки диаметром 0,3—0,5 мм. Часть внешней оплетки расчесывается, скручивается, после чего припаиваются бандаж и скрученная часть внешней оплетки кабеля (рис. 17*ж*). После обмотки звена лентой типа ПХВ изготовление трансформирующего звена можно считать законченным.

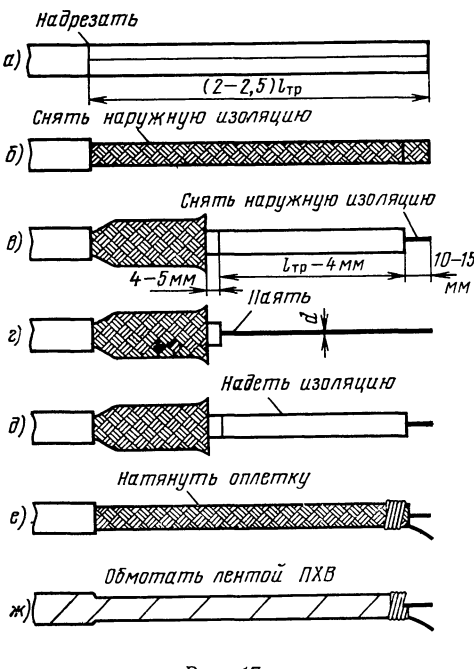


Рис. 17

Следует сказать несколько слов о подключении кабеля в точках питания антенны. На рис. 18 приведены варианты правильного (*а*) и неправильного (*б*) подключения кабеля. При неправильном подключении кабеля из эквивалентной электрической схемы следует, что в работе антенны участвует внешняя поверхность экрана коаксиального кабеля.

Следует заметить, что в действительности реальная длина трансформирующего звена выбирается меньшей $\lambda/4$. Это связано с тем, что, во-первых, мы имеем дело с трансформацией не чисто активных сопротивлений и, во-вторых с необходимостью обеспечить согласование в весьма широкой полосе частот. Обычно окончательная длина выбирается методом проб и ошибок. Согласование в широкой полосе частот одноступенчатым трансформатором не всегда может быть удовлетворительным. Для достижения большего уровня согласования могут быть применены многоступенчатые трансформаторы. Это бывает необходимо тогда, когда согласуемые величины сопротивлений значительно разнятся между собой. Например, при согласовании сопротивлений 75 и 150 Ом или 50 и 150 Ом целесообразнее использовать две-три ступени трансформирующих звеньев.

Конструкция диапазонной направленной антенны позволяет использовать при согласовании ряд ее особенностей. С этой целью трансформирующее звено размещают в раскрыве антенны. С помощью симметричной двухпроводной линии точки питания антенны выносят за плоскость излучателя. Требуемая длина

трансформирующего звена в данном случае существенно меньше четверти длины волны, а эффективность согласования значительно выше. На рис. 19*а* показан вынос точек питания из плоскости излучателя с помощью симметричной линии, образованной трубчатыми проводниками. На рис. 19*б* представлено изменение уровня согласования по диапазону до установки трансформирующего

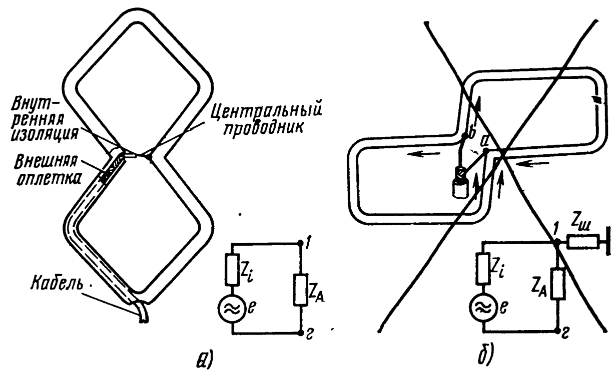


Рис. 18

звена (кривая *2*) и после установки (кривая *1*). Здесь же приведены основные размеры антенны, отнесенные к длине волны.

Описанный способ согласования целесообразно применять при выполнении антенного устройства из тонких проводников. Варианты конструктивного выполнения приведены на рис. 20. Здесь показаны способы реализации трансформатора в раскрыве антенны посредством полосковой линии, линии из круглых проводников и уголкового профиля.

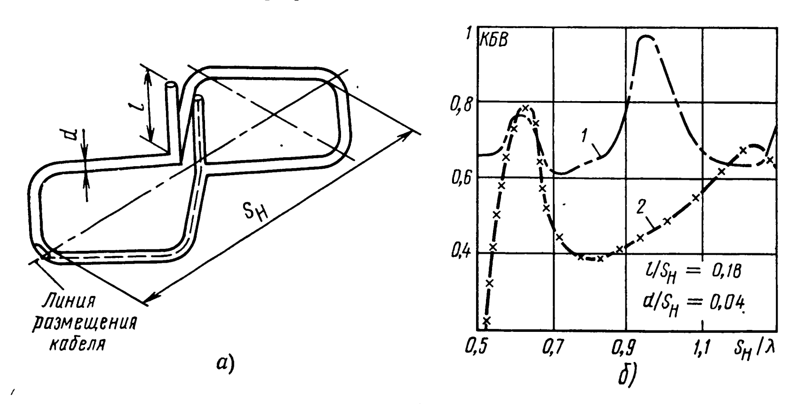


Рис. 19

Основой согласующего устройства является симметричная линия *1*, которая имеет длину *l*, ширину *D* и расстояние между пластинами *d*. Волновое сопротивление такой линии вычисляется по вышеприведенной формуле. При этом влиянием кабеля можно пренебречь, так как при правильной установке его влияние на погонную емкость пренебрежимо мало. Подключение кабеля осуществляется следующим образом. Кабель, будучи введенным через точку нулевого потенциала в излучатель, далее проведенный по одному из проводников, в точку питания проходит по наружной стороне трансформатора до его конца. На конце производится распайка кабеля. С этой целью оплетка припаивается к пластине, по которой проложен кабель, а внутренний проводник — к другой

пластине. Таким образом, обеспечивается вынос точек питания из плоскости излучателя на длину линии. Это в свою очередь позволяет обеспечить относительно плавный переход из симметричной двухпроводной линии в антенну. Для получения большей широкополосности и уровня согласования отрезок согласующей линии целесообразно выполнять таким образом, чтобы его волновое сопротивление плавно изменялось по длине линии от волнового сопротивления

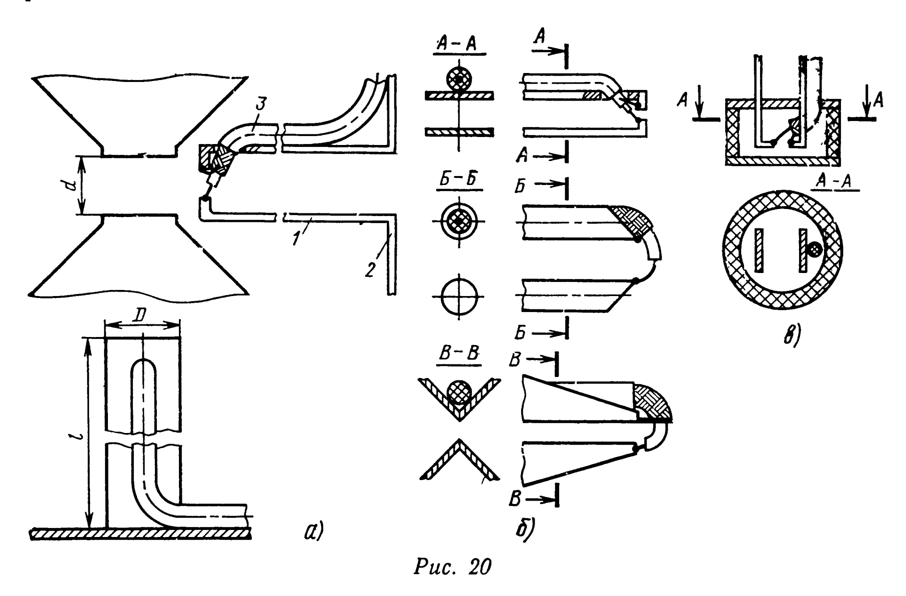


Рис. 20

кабеля до волнового сопротивления антенны. С этой целью целесообразно в месте подключения кабеля сечение линии выполнить соответствующим волновому сопротивлению кабеля, а в месте подключения к антенне расстояние между полосками и их ширина должны соответствовать волновому сопротивлению антенны. Плавный переход может быть осуществлен двумя путями: изменением расстояния между проводниками одинакового по длине сечения или изменением сечений проводника при одинаковом расстоянии между ними. Оба способа равноценны и решение обычно принимается из конструктивных соображений. На рис. 20 показаны некоторые варианты построения линий с переменным *W*.

Наибольшую трудность в описанном способе согласования представляет защита точек подключения кабеля от воздействий внешней среды, так как приходится иметь дело с необходимостью герметизировать объемную конструкцию. На рис. 20*б* представлен один из вариантов защиты точек питания антенны. С этой целью из диэлектрика (текстолит, органическое стекло и т. п.) изготавливается в зависимости от сечения линии деталь, показанная в сечении *А—А*, и надевается на симметричную линию. После распайки коаксиального кабеля эта деталь клеится эпоксидным клеем к пластинам и кабелю, образуя одну из стенок изолятора. Далее к изолятору приклеивается стакан, после чего обеспечивается надежная защита точек питания от попадания воды, влаги и пыли. Следует заметить, что стакан может быть выполнен как из диэлектрика, так и из металла. При этом необходимо только не замкнуть точки присоединения кабеля к трансформатору и обеспечить минимально возможную емкость стакана на трансформирующее звено. При использовании рефлектора излучатель целесообразно повернуть таким образом, чтобы трансформирующий отрезок с изолятором на конце находился между излучателем и рефлектором.

Улучшения согласования антенного устройства с фидером иногда можно добиться применением неоднородностей в виде различных конструктивных элементов, не приводящих к заметному изменению диаграмм направленности. Единственным условием при установке согласующих неоднородностей является

их геометрическая симметрия в обоих плоскостях поляризации. Улучшение согласования в данном случае достигается за счет того, что знак реактивного составляющей входного сопротивления антенн изменяется медленно, так как антенна по своим свойствам широкополосна и компенсация реактивного сопротивления происходит непосредственно на входе антенны. Это обстоятельство позволяет подобрать размер неоднородности и ее расстояние от точек питания таким образом, что ее влияние сказывается лишь на верхних частотах диапазона. Практически хороший эффект достигается в достаточно широком диапазоне частот. На рис. 21 показаны варианты антенн, в которых согласование выполнено указанными способами. Как видно из рисунка, в области верхних частот уровень согласования КБВ увеличивается от 0,4 до 0,8. При этом надо отметить, что эффект улучшения согласования достигается практически во всем диапазоне частот с перекрытием по частоте $K_f=2$. Размеры согласующих элементов целесообразно выбирать следующие: $l=(0{,}12\div0{,}13)S_н$, $D=(0{,}18\div\div0{,}2)S_н$, где l — длина неоднородности, D — расстояние между неоднородностями.

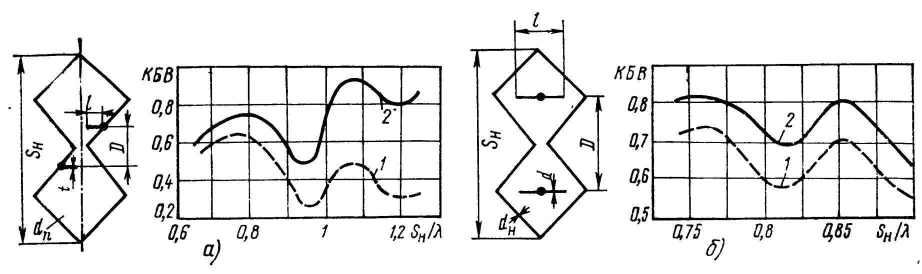


Рис. 21

При применении диапазонной направленной антенны аналогичного эффекта можно достичь путем установки неоднородностей в щели излучателя. С этой целью неоднородности устанавливаются в ячейках антенны. Механизм повышения уровня согласования аналогичен описанному выше с той лишь разницей, что отражения от неоднородностей испытывают не волны тока, а волны напряжения, распространяющиеся симметрично от точек питания к точкам нулевого потенциала. При этом улучшение согласования происходит также в широкой полосе частот. Неоднородности представляют собой короткие проводящие стержни, устанавливаемые параллельно вектору напряженности электрического поля. Стержни могут устанавливаться на металлических стойках, к которым они крепятся в центре. Наибольший эффект достигается при установке стержней в плоскости излучателя и в центре ячеек. При установке согласующих элементов в ячейках излучателя без связи с токонесущими проводниками антенны (рис. 21*б*) происходит сглаживание частотной зависимости входного сопротивления. В этом случае амплитуда реактивной составляющей входного сопротивления уменьшается, а значение активной составляющей приближается к 100 Ом. Согласующие элементы целесообразно устанавливать симметрично в плоскости излучателя на расстоянии $S_н/2$ друг от друга. Длины элементов при этом выбирают $l=(0{,}25\div0{,}3)S_н$. Применение указанных способов согласования часто бывает выгоднее и проще, чем согласование путем трансформации сопротивлений согласующими отрезками линий. В качестве примера, иллюстрирующего эффективность согласования указанным на рис. 21 способом, представлена конструкция антенны и достигнутый уровень согласования. Кривая *1* соответствует случаю без применения согласующих стержней, кривая *2* — с их применением. Легко видеть, насколько эффективно и просто это достигается.

В радиолюбительской практике представляет определенный интерес способ подключения к антеннам симметричного кабеля. Одна из схем подключения кабеля к антенне показана на рис. 22. Симметричный экранированный кабель разветвляется и вводится через область нулевого потенциала в одну из ячеек антенны и укладывается вдоль нее. Выше отмечалось, что симметричный кабель, к примеру, с волновым сопротивлением 150 Ом может быть выполнен из двух

коаксиальных экранированных кабелей с волновым сопротивлением 75 Ом. Такое подключение симметричного кабеля позволяет получить дополнительные, весьма полезные преимущества для подключения антенны с фидером.

На рис. 22 показаны один из вариантов питания антенны с помощью двух коаксиальных кабелей и эквивалентная схема. Как видно из рис. 22, такое подключение позволяет вводить в антенну дополнительные согласующие (или подстроечные) элементы в виде последовательного и параллельного сопротивлений. Схема подключения видна из рисунка. В качестве дополнительных сопротивлений могут быть применены отрезки коаксиального кабеля той или иной длины без нарушения симметрии подключения кабеля питания. В частности, для получения индуктивного сопротивления необходимо взять короткозамкнутый отрезок коаксиального кабеля, длиной меньше четверти длины волны (с учетом коэффициента укорочения!), для реализации емкостного сопротивления этот отрезок должен быть разомкнут. Интересным развитием данного способа питания антенны является использование в качестве одного из проводников симметричного кабеля проводника самой ячейки. В этом случае излучатель целесообразно брать плоским, выполненным из достаточно широкой полоски металла. Этот вариант показан на рис. 23.

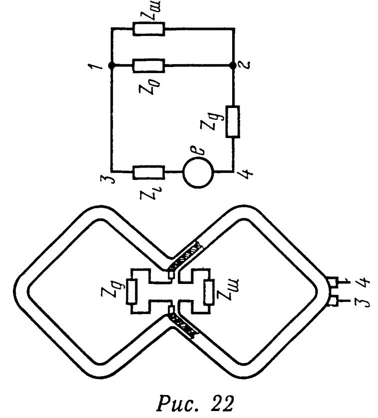


Рис. 22

На одну из ячеек накладывается через слой диэлектрика тонкая полоска металла. Таким образом, система рамка — диэлектрик — полоска образует несимметричную полосковую линию. Выбрав волновое сопротивление равным

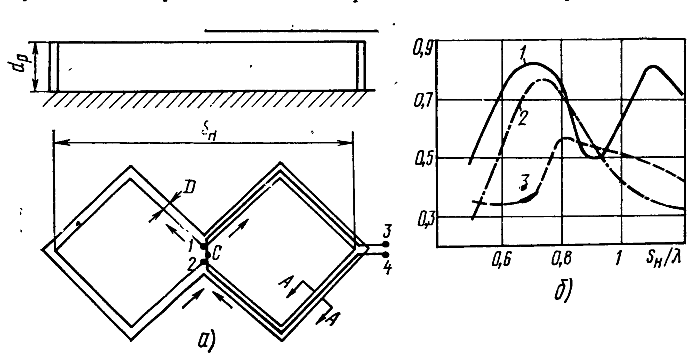


Рис 23

75 Ом, получим систему, эквивалентную питаемой симметричным кабелем 150 Ом. Как видно из рис. 23*а*, все преимущества питания симметричным кабелем сохраняются и появляются дополнительные — вынос точек питания антенны за ее пределы в область нулевого потенциала. Единственным недостатком данного питания является то, что требуется диапазонное симметрирующее устройство. Учитывая перечисленные выше преимущества, иногда с этим недостатком имеет смысл мириться. На рис. 23*б* представлено изменение КБВ в широком диапазоне частот, откуда можно судить о преимуществах данного способа подключения антенны к фидеру. Кривые *1*, *2*, *3* соответствуют волновому сопротивлению W несимметричных полосковых линий, соответственно равному 90, 50, 20 Ом, данные кривые показывают, что оптимальное согласование имеет место при $W = 50$ Ом, что свидетельствует о близости волнового сопротивления сопротивлению $W_{вх} = 100$ Ом. С конструктивной точки зрения возбуждение вит-

ком связи целесообразно применять при выполнении антенного устройства из тонких проводников. Для получения требуемого волнового сопротивления виток и проводники антенны могут выполняться из нескольких проволок.

На практике полотно антенны удобнее выполнять из тонких проводников, так как конструкция получается дешевой, простой и обладающей минимальной парусностью и массой. При этом необходимо сохранить и основное свойство описываемой антенны — ее диапазонность. Конструкция диапазонной направленной антенны позволяет получить эти качества. С этой целью полотно антенны выполняют из нескольких проводников, что эквивалентно применению для токонесущих проводников широких металлических полос. Используя основные особенности распределения тока на антенне, нет надобности в изготовлении всего полотна антенны из рядов проводников. Один из вариантов такой антенны изображен на рис. 24.

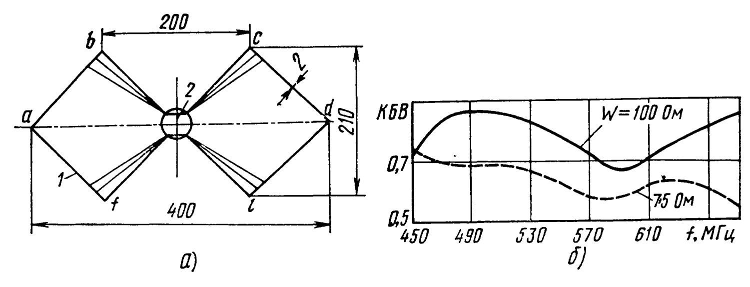


Рис. 24

Экспериментальная проверка проводилась в диапазоне, соответствующем частотам телевизионных каналов с 21-го по 39-й. Для антенны была применена проволока диаметром $d=2$ мм. Антенна испытывалась над плоским рефлектором. Расстояние плоскости излучателя до рефлектора было выбрано равным $d_р=100$ мм. Конструктивно токонесущий провод может быть растянут в точках *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* с помощью диэлектрических стоек или тяг. Схематично представленная конструкция антенны допускает различные пути реализации. В частности, питание может быть осуществлено как коаксиальным кабелем, так и замкнутым витком. Варианты натяжения полотна могут быть самыми разнообразными. Необходимо иметь в виду главное: точки *a*, *d* — точки нулевого потенциала и, следовательно, в этих точках стойки могут быть металлическими. Точки *b*, *c*, *e*, *f* — точки потенциальные. Крепление в данном случае возможно только с помощью диэлектрика. Изолятор *2* должен быть рассчитан на герметизацию точек подключения кабеля к антенне для защиты от воздействия различных факторов окружающей среды. Вариант антенны, показанной на рис. 24, позволяет обеспечить хорошее согласование антенны с фидером. В этом случае КБВ составляет не менее 0,57 на входе фидера с волновым сопротивлением $W=75$ Ом.

Примером другой антенны из тонких проводников является конструкция, приведенная на рис. 25. Размеры антенны выбраны в расчете на работу в диапазоне частот, соответствующем 6—12-му каналам телевидения. Сетчатые проводники эквивалентны плоским широким пластинам в центре излучателя. Полотно антенны выполнено из провода диаметром $d=2$ мм. В центре антенны установлены изоляторы *2*, которые при натяжении полотна обеспечивают требуемую форму излучателя. Кабель присоединен в точках *a*, *b* с помощью одного из перечисленных выше способов. Сравнение кривых *1*, *2*, соответствующих выполнению антенн из одиночного провода и сетчатого, показывает, что в последнем случае имеет место существенное улучшение согласования антенны. Рассмотренные способы улучшения согласования антенны с фидером основаны на теории трансформации сопротивлений посредством длинных линий и различного рода конструктивных решений. Представляется интересным рассмотреть возможность трансформации сопротивлений посредством трансформаторов на сосредоточенных элементах. Считать, что эти трансформаторы на чисто сосредоточенных элементах, разумеется, нельзя, так как проводники, формирующие

индуктивность, соизмеримы с длиной волны. Это — скорее гибридные трансформаторы сопротивлений.

Рассмотрим такие трансформаторы подробнее. Трансформатор устроен следующим образом (рис. 26*а*). Внутри тороидального замкнутого витка *1* устанавливаются две индуктивности (*4*, *5*), выполненные проводом типа литцендрат

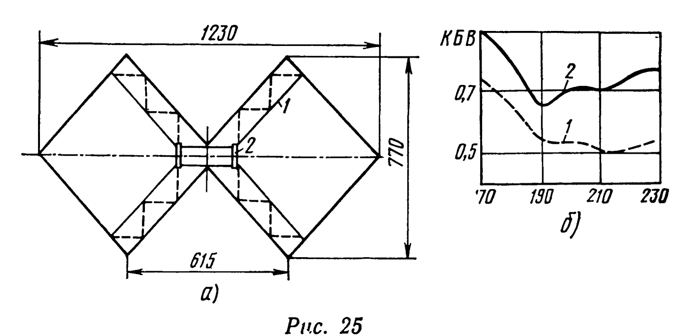


Рис. 25

на тороидальных сердечниках. Сердечники между собой разделены электростатическим экраном *2* для уменьшения емкости между указанными индуктивностями. В приложении 1 представлен рабочий чертеж описанного трансформатора, а его эквивалентная электрическая схема — на рис. 26*б*. Как видно из схемы, связь между первичной и вторичной обмотками трансформатора осуществ-

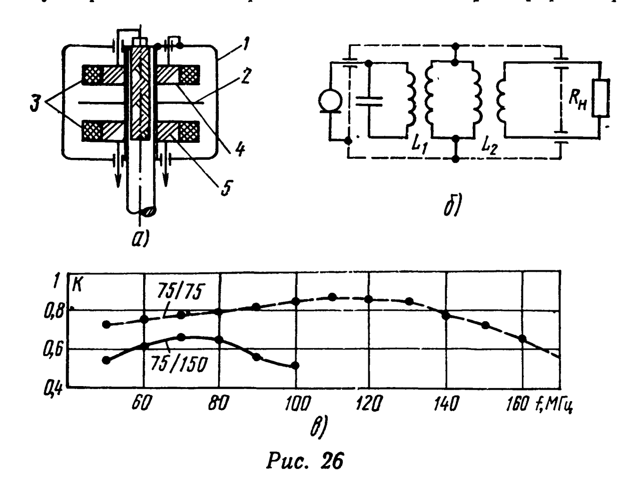


Рис. 26

ляется объемным замкнутым витком, который разделен электростатической перегородкой *2*, что позволяет уменьшить емкость между первичной и вторичной обмотками. Число витков в обмотках *1* и *2* выбирается минимальным, а требуемая индуктивность достигается тороидальным сердечником типа 1000НМ К16×10×4,5. Для уменьшения межвитковой емкости обмотки выполнены многожильным проводом литцендрат типа ЛЭШО 12×0,7. Конструкция трансформатора позволяет осуществить трансформацию сопротивлений до 1 : 4 в диапазоне частот, соответствующем каналам телевидения с 1-го по 5-й. По своим конструктивным особенностям данный трансформатор является симметричным как со стороны входа, так и со стороны выхода. Однако его работа не нарушится, если первичную или вторичную обмотки сделать несимметричными. Для этого достаточно один из проводников той или иной обмотки соединить с внешним экраном трансформатора, а к другому концу присоединить внутренний про-

водник коаксиального кабеля, предварительно закрепленного и припаянного внешней оплеткой к объемному витку. Такой вариант крепления представлен на рис. 26. Единственным неудобством является необходимость герметизации точек припайки кабеля. Это может быть выполнено либо с помощью эпоксидного клея, либо механическим путем. Последнее более предпочтительно, так как в любой момент имеется доступ в места пайки с целью проверки неисправностей в высокочастотном тракте. В табл. 8 приведены основные данные описанных трансформаторов.

Данные, приведенные в табл. 8, показывают, что описанный трансформатор может с успехом конкурировать в диапазоне 50—100 МГц с трансформаторами на основе отрезков линий. Весьма перспективно использование описанного

Таблица 8

Число витков I обмотки	Число витков II обмотки	Индуктивность обмоток I	Индуктивность обмоток II	Тип сердечника	Коэффициент трансформации	Диапазон частот, МГц	КБВ
8, провод ЛЭШО12×0,07	8, провод ЛЭШО12×0,07	8,4	8,4	М1000НМ-3 К16×10×4,5	75/75	50—170	0,56
—	—	12	46,5		75/150	50—100	0,5
6, в пяти проводах ЛЭШО24×0,1	8, в четырех проводах ЛЭШО24×0,1				37/75	50—80	0,5

трансформатора в сочетании с конструкциями из тонких проводников при питании их короткозамкнутым витком связи. В этом случае конструкция антенн получается ажурной и нет необходимости в прокладке коаксиального кабеля вдоль тонкого проводника антенны (рис. 27).

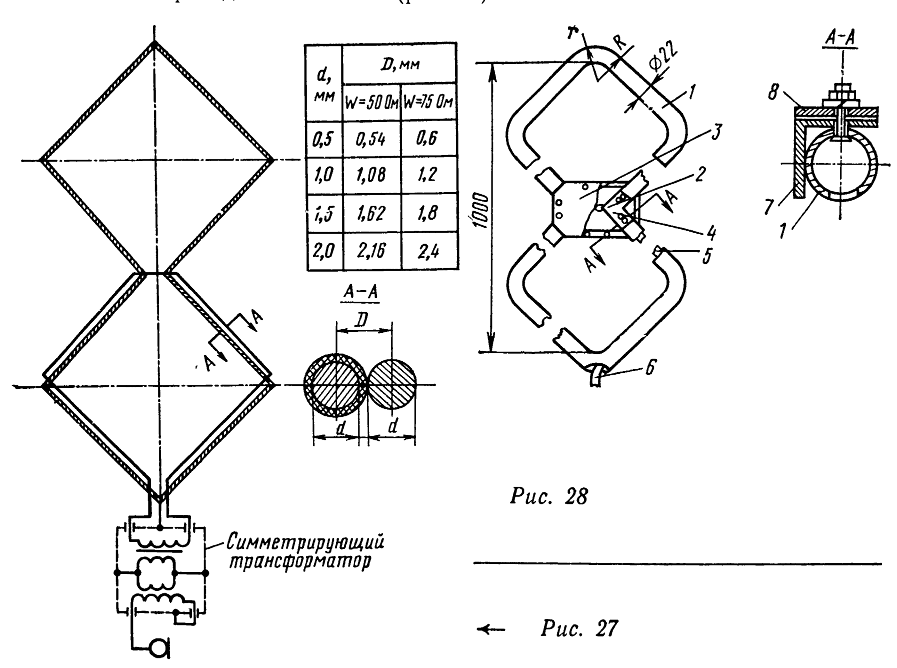


Рис. 28

Рис. 27

Таблица 9

Вариант антенны	Измеряемые параметры	Условия применения	Рекомендуемые размеры
1	2	3	4
	S_E, S_H, α	В случае требования наименьших размеров антенны в H-плоскости КБВ$\leqslant$1,5$\div$1,7	$S_H/\lambda_{max}=0{,}45\div0{,}5$ $S_E/\lambda_{max}=0{,}20\div0{,}35$ $\alpha=(80\div90)^\circ$ $Z_{вх}=100\div120$ Ом
	S_E, S_H, α	При работе в предельно широкой полосе частот, когда требуется небольшая парусность антенны $K_f=2\div2{,}2$	$S_H/\lambda_{max}=0{,}5\div0{,}6$ $S_E/\lambda_{max}=0{,}25\div0{,}3$ $\alpha=(80\div90)^\circ$ $Z_{вх}=120\div150$ Ом
	S_H, l, a, α	При работе в двукратном диапазоне частот. Используется для получения согласования	$S_H/\lambda_{max}=0{,}6$ $\alpha=(80\div90)^\circ$ $Z_{вх}=180\div150$ Ом $l=(0{,}16\div0{,}17)S_H$ $a=(0{,}13\div0{,}16)S_H$

Окончание табл. 9

1	2	3	4
	S_H, l, α	Для получения высокого согласования в полосе частот с перекрытием $K_f=1{,}5$	$S_H/\lambda_{max}=0{,}6$ $\alpha=(80\div 90)°$ $Z_{вх}=100\div 120$ Ом $l=0{,}3S_H$
	S_H, l, α	В случае выполнения конструкции излучателя из тонких проводников при требовании хорошего согласования. Работает в двукратном диапазоне частот $K_f=2{,}0$	$S_H/\lambda_{max}=0{,}5\div 0{,}6$ $l/\lambda_{max}=0{,}06\div 0{,}07$ $\alpha=(80\div 90)°$ $d=(0{,}005\div 0{,}01)\lambda$
	S_H, W, l	В случае получения хорошего согласования, когда излучатель выполнен из относительно тонких проводников $K_f=1{,}7$	$S_H/\lambda=0{,}5\div 0{,}6$ $W=90\div 100$ Ом $l<\lambda/8$ $d=0{,}01\div 0{,}05$
	S_H, W	В случае, когда требуется симметричное питание и не требуется гальванической связи с антенной. Работает в полосе частот с $K_f=1{,}7\div 2{,}0$	$S_H/\lambda=0{,}5\div 0{,}6$ $W=50\div 60$ Ом

Рассмотрим один из вариантов такой антенны. Представим себе, что необходимо изготовить антенное устройство для приема телевизионных передач по 6—12-му каналам телевидения. Прием ведется в черте города при достаточно большом уровне сигнала. Антенну можно разместить прямо на окне, если оно смотрит в сторону телецентра, во всяком случае можно допустить отклонение ±30°. Учитывая то, что антенну можно выполнить из тонких проводов, например, взять стальную проволоку диаметром 0,1—0,3 мм, заметного затенения окна не будет, так как нет необходимости прокладывать кабель вдоль проводников антенны. Виток связи можно выполнить из эмалированной медной проволоки, выполнив плотный повив с проводом ячейки. Трансформатор необходимо взять с коэффициентом трансформации равным 2, так как антенна выполнена из тонкого провода и какие-либо согласующие элементы на ее провод устанавливать нежелательно. Тогда будет иметь место удовлетворительное согласование с кабелем РК 75-4-11. Антенна натягивается на раме окна, как это показано на рисунке приложения 2. Растяжка потенциальных областей антенны может быть произведена капроновым шнуром или леской. Конструкция антенны хорошо вписывается в размеры окна и не затеняет его. Работа такой антенны будет несомненно лучше, чем комнатной. Более подробно данная антенна будет описана ниже.

Описанные способы согласования могут на практике использоваться как в отдельности, так и в сочетании друг с другом. Все они сведены в табл. 9.

КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ДИАПАЗОННОЙ АНТЕННЫ

Конструкции диапазонной антенны могут быть различными. Выбор той или иной из них зависит от требуемой ширины полосы частот, диапазона работы, требуемого уровня согласования с питающим фидером и т. д. Ниже приведены наиболее характерные варианты конструкций антенны применительно к различным диапазонам частот.

На рис. 28 представлен общий вид антенны в трубчатом исполнении, рассчитанной на работу с 6-го по 12-й каналы телевидения. Антенна состоит из двух ромбовидных ячеек *1*, выполненных из трубы диаметром 22 мм. Толщина стенки трубы может быть выбрана в пределах 1—2 мм из соображений прочности. Размеры рамки *1* и способ получения конфигурации показаны на рисунках приложения *3*. После получения требуемой конфигурации рамки соединяются друг с другом уголками 2 и пластинами *8*. Такая конструкция позволяет получить прочный узел в центре антенны. Уголки *7* и пластины *8* крепятся к рамкам потайными винтами, при этом головка ставится внутри трубы таким образом, чтобы обеспечить пропускание кабеля при его подключении в точке питания. Собранная конструкция охватывается изолятором *3*, состоящим из двух накладок, выполненных из плотного пенопласта и двух текстолитовых пластин. Все это надевается на рамки в центре антенны, тщательно подгоняется, смазывается эпоксидным клеем и стягивается винтами М5 достаточной длины. Чертеж изолятора дан в приложении 3. Крепление конструкции антенны к рефлектору может быть осуществлено аналогично показанному в приложении 3. Заметим, что такое крепление антенны возможно при использовании одиночной антенны (без рефлектора). Подключение кабеля к антенне надо производить через трансформатор. С этой целью необходимо изготовить трансформирующее звено в соответствии с приведенными выше рекомендациями. Размеры трансформатора даны в приложении 3.

Подобные конструкции могут быть выполнены применительно к диапазону волн, соответствующему каналам с 21-го по 39-й. При этом надо соответственно изменить размеры антенны и сечение трубы. В частности, диаметр трубы может быть выбран в пределах 10—12 мм. При изготовлении подобного рода конструкций неизбежно приходится иметь дело с соединением различных металлов. Эти соединения могут являться причиной образования так называемых гальванических пар. Гальванические пары — это контакты различных металлов, на которых возникают дополнительные ЭДС, имеющие электрохимическую природу. В частности, гальваническая пара алюминий — медь является запрещенной. При необходимости механического соединения алюминия и его сплавов с медью или ее сплавами надо вводить промежуточный третий металл — цинк или

кадмий. При этом ЭДС гальванической пары существенно снижается. Практически это осуществляется следующим образом. Если необходимо электрически соединить медный провод с пластиной алюминия, то можно ввести промежуточную деталь в виде заклепки, покрытую цинком или кадмием. Ее расклепывают в специально подготовленном отверстии и к ней припаивают медный проводник.

В трубчатом варианте исполнения местом возможного появления гальванических пар является узел соединения рамок друг с другом. Их соединение производят с помощью уголка *7* и пластины *8*. Поэтому указанные детали целесообразно иметь покрытыми кадмием или цинком. Если же эти детали выполнены из сплава алюминия (Д1Т, АМГ и т. п.), то надо вводить оцинкованную заклепку в пластину *8*.

Несколько слов о гибке трубки. Получение требуемой конфигурации рамок *1*, вообще говоря, не простое дело Это связано с тем, что труба, как правило, нагартована и ее изгиб приводит к нарушению трубчатого сечения, после чего возможен ее излом и появляются дополнительные трудности при введении в нее кабеля. Поэтому трубы лучше всего выбирать мягкими, чтобы избежать процедуры их отжига. Перед изгибанием трубу необходимо плотно заполнить мелким песком или залить канифолью. Придание требуемой формы целесообразно осуществлять парой специальных роликов, обкатывающих трубу при ее изгибе. Схематично процесс изгиба трубки представлен в приложении 3. Изгиб производится следующим образом. Выбранную трубу, длиной несколько большей требуемой, плотно набивают мелким песком и с обеих сторон забивают деревянные заглушки (см. приложение 3). При заливке расплавленной канифолью заглушки также необходимы. Далее трубу закрепляют на плите и производят обкатку роликами, после чего трубу передвигают с тем, чтобы образовать следующий изгиб и т. д. После получения требуемой конфигурации труба освобождается от заглушек и внутреннего заполнения любым из известных способов. Далее производится опиловка рамок в соответствии с размерами, указанными на чертеже. На этом изготовление рамок антенны можно считать законченным.

Достаточно простые варианты конструктивного исполнения антенны могут быть получены на основе различных профилей. Среди наиболее часто встречающихся профилей: уголковый, П-образный Т-образный и т. д. При изготовлении из этих профилей проводников антенн надо учитывать ряд условий: при изгибах проводников не должна теряться жесткость полотна антенны, материал профиля должен быть легким и обладать хорошей проводимостью, коррозионной стойкостью, а детали конструкции не должны содержать гальванических пар. Наиболее подходят с этих точек зрения профили на основе сплавов алюминия, наиболее конструктивны мягкие сплавы (Д1А, АМГ и т. п.), так как они в известных пределах допускают изгибы, что дает возможность формировать геометрию антенны. В качестве примера рассмотрим конструкцию из уголкового профиля. Антенна может быть сформирована из двух М-образных деталей, концы которых при соединении образуют области нулевого потенциала, а в центральные области изгибов подключается кабель. В области точек нулевого потенциала М-образные детали могут быть скреплены винтами или заклепками. Для подключения кабеля в точках питания крепятся специальные уголковые пластины, которые придают жесткость конструкции в плоскости антенны и дают возможность подключения кабеля с трансформирующим звеном. Уголковые пластины крепятся к М-образным деталям с помощью заклепок или винтов. При этом надо избегать образования запрещенных гальванических пар способами, описанными выше. Как и в трубчатом варианте исполнения, наиболее ответственным узлом в данной конструкции следует считать изолятор, устанавливаемый в центре — области подключения кабеля.

Основные функции изолятора: придание дополнительной жесткости полотну антенны и защита области подключения кабеля от различного рода атмосферных воздействий. Изолятор в данном случае также целесообразно выполнять в виде пенопластовых накладок, армируемых снаружи текстолитовыми пластинами. Подключение кабеля к данной конструкции и его прокладка вдоль проводников антенны осуществляется обычным способом. Кабель с трансформирующим звеном на конце, будучи распаянным к уголковым пластинам в центре антенны, прокладывается внутри уголкового профиля и прижимается в

его изгибе скобами, равномерно распределенными вдоль изгиба одной из рамок антенны. Из антенны кабель выводится через область нулевого потенциала, в этой же области необходимо выполнить клемму заземления антенны, особенно это касается конструкций, устанавливаемых на достаточно высоких мачтах. Следует заметить, что в антенне из уголкового профиля достаточно просто реализуется способ согласования, основанный на выносе точек питания из плоскости антенны с помощью симметричного трансформирующего звена. С этой целью уголковые пластины надо изготавливать с расчетом одновременного получения проводников трансформирующего звена. Ниже, при описании конструкций антенн, подобное решение представлено более подробно чертежами. Применение тех или иных профилей для получения конструкций антенны обусловлено необходимостью достижения определенной жесткости ее полотна. В диапазоне частот 470—622 МГц, где размеры антенны составляют лишь $S_E \times S_H = 150 \times 300$ мм^2, применение сложных профилей необоснованно. В данном случае можно использовать обычный листовой материал, толщиной от 2 до 4 мм, из которого вырезается требуемая конфигурация антенны с минимальным числом соединений. Если окажется, что жесткость полотна недостаточна, она может быть легко достигнута соответствующей отбортовкой проводников либо другим способом. В небольших по размерам конструкциях легко нарушить требуемую геометрию антенны, поэтому при конструировании тех или иных узлов и прокладке кабеля, сечение которого соизмеримо с размерами антенны, надо осторожно подходить к этим вопросам.

Если жесткие конструкции целесообразнее всего применять для диапазонов волн, соответствующих каналам телевидения с 21-го по 39-й и с 6-го по 12-й, так как антенны при этом не очень громоздки и их металлоемкость невелика, то для антенн применительно к 1—5-м каналам телевидения дело обстоит иначе. В данном случае необходимо реализовывать конструкции, имеющие относительно большие размеры.

Наиболее заманчивый путь — выполнение токонесущих проводников из тонких прочных проводов (стальной трос, медный провод, антенный канатик и т. д.). Основанием возможности реализации подобных решений является принципиальная широкополосность описываемой антенны. Конструкция антенны при относительно больших размерах может быть получена легкой, прочной и обладающей небольшой парусностью. На рис. 29 показан общий вид такой

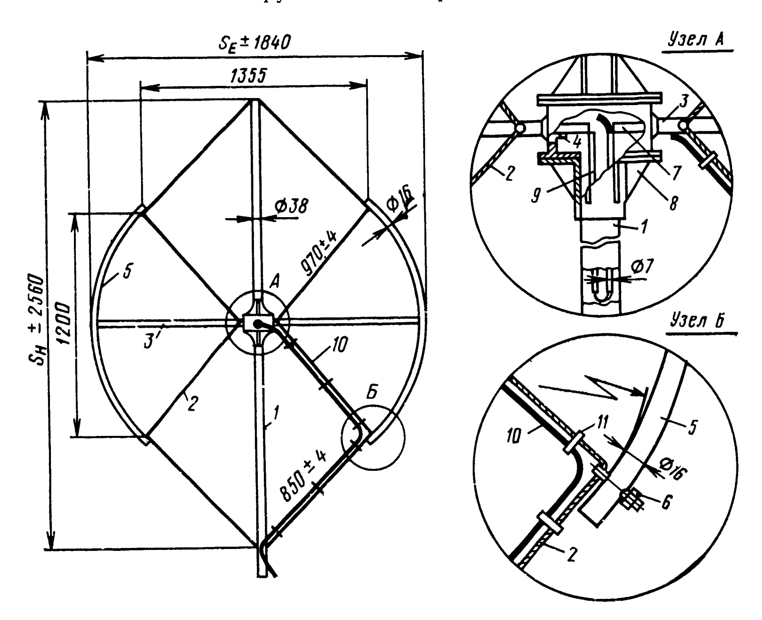


Рис. 29

антенны, рассчитанной на прием телевидения по 1—5-му каналам. Механическую основу конструкции составляет несущая штанга *1*, выполненная из трубы диаметром 38 мм, вдоль которой растянуты токонесущие проводники антенны *2*, образующие полотно антенны. Упорные стержни *3* крепятся через изоляторы *4* к узлу *А*, прочно связанному с несущей штангой *1*. Свободные концы упорных стержней *3* имеют специальные выборки под пружинные дуги *5*. Упорные стержни и дуги изготавливаются из дюралюминиевой трубы диаметром 16 мм, толщиной стенки 1,0 мм. Материал трубы — Д16Т. Натяжение троса диаметром 1,0 мм, образующего полотно антенны, производится следующим образом. Сначала на какой-либо плоскости достаточных размеров на гвоздях растягивается трос (или медный провод) в соответствии с размерами, приведенными на рис. 29, фиксируется требуемая длина троса и далее на него нанизываются фиксирующие винты, устанавливаемые в соответствующие отверстия узловых точек антенны. На вынесенном узле *Б* показаны одна из узловых точек и способы фиксации троса с помощью винта *6*. Производится симметрирование полотна антенны и его фиксация. Для окончательного оформления антенны дуги *5* натягивают на концы упорных стержней *3*. Этой операцией завершается изготовление механической сборки антенны.

Винт *6* представляет собой стержень диаметром 5 мм, один конец которого имеет резьбу М5 на длине 10—15 мм, другой — отверстие диаметром 2 мм. Если пропустить сквозь это отверстие трос, винт вставить в соответствующие отверстия в трубах *1*, *3*, *5*, то, затягивая гайку винта *6*, можно достичь требуемой фиксации проводника *2* в узловых точках.

Подключение кабеля в точки питания антенны осуществляется с помощью трансформирующего звена *9* в виде двухпроводной симметричной линии, размещаемой из конструктивных соображений внутри несущей штанги *1*. Таким образом, данная антенна имеет вынесенные точки питания в плоскость антенны вдоль несущей штанги, являющейся линией симметрии. Узел питания антенны *А* состоит из двух держателей *8* и средней детали *7*. В держателе *8* вставлены трубы несущей штанги *1* и прочно в ней закреплены. Обе половины держателей *8* с трубами *1* скрепляются в центре через среднюю деталь *7* шпильками 6 мм. В детали *7* вставлены прочные изоляторы *4*, сквозь которые пропущены трубчатые стержни, вставляемые при сборке в упорные стержни *3*. Трубчатые стержни вклеиваются в изоляторы *4* эпоксидным клеем. На внутренние концы стержней крепится симметричная линия *9*. Длина линии 450 мм, диаметр проводников 5 мм. Кабель вводится сквозь трубчатый стержень во внутреннюю область детали *7* через уплотнение. При этом допустимо сверление корпуса детали *7* около изолятора с целью введения кабеля *10*, но надо выполнить соответствующее уплотнение. Некоторая асимметрия в указанном диапазоне частот допустима. Кабель вводится через область нулевого потенциала, а прокладывается вдоль троса, как показано на рис. 29, и крепится к нему хомутиками *11*. Далее кабель вводится внутрь детали *7*, в соответствующую трубку трансформатора *9* и на конце трансформатора распаивается. Заметим, что до введения кабеля во внутреннюю область детали *7* его необходимо освободить от внешней изоляции. После распайки кабеля детали *8* и *7* должны быть надежно скреплены винтами или шпильками.

Описанная конструкция антенны рассчитана на работу в диапазоне 48,5—100 МГц при уровне согласования КБВ$\geqslant$0,45. Характерной особенностью диаграмм направленности данной антенны являются слабая зависимость от частоты в двукратном диапазоне частот и четко выраженная направленность в обеих плоскостях поляризации. Ширина диаграмм направленности в плоскости *E* изменяется от 58 до 78° и в плоскости *H* — от 80 до 130°. Коэффициент усиления антенны по отношению к полуволновому вибратору составляет 2,8 — 4,0 дБ.

Опыт эксплуатации подобных антенн показывает, что она достаточно надежна и способна работать без вмешательства не один год. Применение подобных конструкций возможно совместно с рефлекторами. Описанная выше конструкция антенны несколько сложна в изготовлении из-за сложных деталей и узлов (*7*, *8*, *9*). Ниже приведен ряд конструктивных решений, которые позволяют изготовить антенну в тросовом исполнении без сложных деталей и узлов. В основе конструкции этих антенн лежит несущая поверхность из диэлектрических материалов, на которую наносятся соответствующим способом токоне-

сущие проводники. Несущая поверхность образуется из жесткой рамы, которая обтягивается капроновым шнуром или леской.

Выбор сечений рамы и шнура определяется соображениями прочности при ветровых воздействиях, оледенении, осадках в виде мокрого снега, дождя и т. п. Основное требование к несущей поверхности — возможно меньшая смачиваемость водой. С этой целью целесообразнее применять в качестве шнура капроновую леску диаметром 1,0 — 1,5 мм, а элементы конструкции, выполненные из дерева, пропитывать водоотталкивающими составами или смолой. Обратимся к рис. 30*а*. Здесь представлена диапазонная антенна в виде двух квадратных ячеек без каких-либо элементов согласования Размер S_H в этом случае

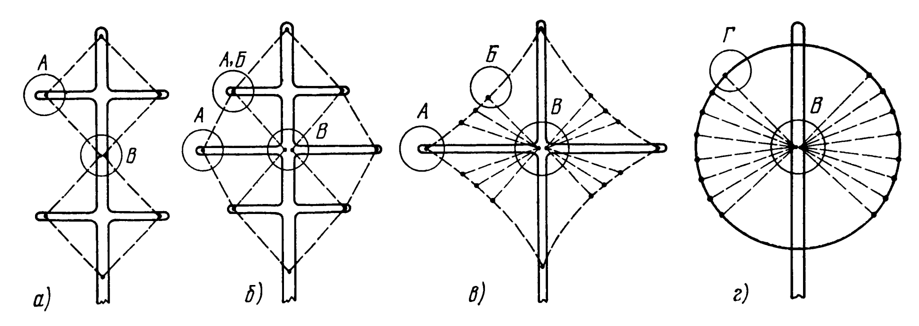


Рис. 30

максимален и должен составлять не менее $0{,}6\lambda_{max}$. Например, для 1-го канала телевидения он составляет 3600 мм, соответственно в плоскости *E* — размер $S_E = 1800$ мм. Сечение несущей штанги в данном случае выбирается из соображений прочности. Штанга может быть как деревянной, так и металлической. Поперечные штанги должны быть обязательно диэлектрическими, например деревянными. Антенна изготавливается следующим образом. В зависимости от требуемого диапазона рассчитывают размеры антенны. Далее выбирают штангу требуемого сечения, к которой крепят поперечные штанги. На полученной конструкции намечают характерные точки для закрепления лески, после чего производят ее раскладку и тщательное натяжение. Для закрепления лески в узлах *А* и *В* надо изготовить изоляторы *1* (узлы *А*, *Б*, *В* приложение 4) в требуемом количестве. Надо заметить, что на изоляторах не должно быть острых кромок и заусенцев. Процедура натяжения лески на раме должна сопровождаться одновременным выравниванием геометрии антенны с целью ее симметрирования. Добившись натяжения лески и убедившись в прочности узлов и рамы конструкции, можно переходить к раскладке токонесущего проводника. С этой целью надо предварительно отмерить требуемое количество медного провода, лучше в эмалевой изоляции, намотать этот провод на челнок и равномерно обмотать основу из лески с шагом 3—5 см.

Прежде чем начать укладку, надо оформить точку питания, как это показано в приложении 4 (в узле *В*). Остальные узлы изготавливаются в соответствии с приложением, а на рис. 30 показано расположение этих узлов на антенне. Питание антенны осуществляется любым из описанных способов. При необходимости повышения уровня согласования антенны с фидером целесообразно использовать при изготовлении вариант рис. 30*б*. Этот вариант имеет более сложную раму, но это может быть в какой-то степени компенсировано более тонкими поперечными стержнями, так как нагрузка от натяжения лески распределяется более равномерно. Единственным конструктивным отличием от варианта (*а*) является узел *Б* — узел соединения лесок друг с другом под некоторым углом. Этот узел осуществляется любым из известных способов при условии, что соединяемые лески не должны перемещаться относительно друг друга.

На рис. 30*в* представлен узкополосный вариант антенны: коэффициент перекрытия по частоте в данной антенне не превосходит 40—50%. Преимущест-

вом такой антенны является минимальный размер $S_Н$. Он составляет всего лишь $(0{,}4 \div 0{,}45)\lambda_{max}$. Применительно к 1-му телевизионному каналу это составляет 2500—2700 мм, при этом размер $S_В \times S_Н$. Конструктивные преимущества можно видеть из рисунка. Несущая штанга скрепляется лишь с одной поперечной штангой. Основой конструкции, как и в предыдущих конструкциях, является тщательно натянутая леска. Некоторым неудобством следует считать большое количество узлов *Б*, однако при освоении способа вязки это обстоятельство не является преградой.

Тросовая антенна, представленная на рис. 30*г*, является широкополосной. Такие конструкции в настоящее время нашли широкое применение, так как хорошо были описаны другими авторами в радиолюбительской литературе. Основу антенны составляют несущая штанга (деревянная или металлическая), к которой прикрепляется металлический обруч, имеющий форму окружности. Центральная область антенны выполняется из лески, которая в центре закрепляется уже описанным способом, а на периферии — как это представлено в приложении 4 (узел *Г*). Неудобством данной конструкции является необходимость пайки токонесущих проводников к трубчатому обручу. Обруч желательно выполнять из медной или латунной трубы. Применение труб из алюминиевого сплава потребует дополнительных промежуточных деталей. Размер диаметра обруча данной конструкции применительно к каналам с 1-го по 5-й должен быть не менее 2500 мм. Остановимся далее на некоторых особенностях рассмотренных конструкций антенн, выполненных на основе тонких проводников.

Как было отмечено выше, в качестве несущей штанги могут быть применены металлические трубы. В этом случае существенно повышается прочность и надежность антенны, уменьшается ее допустимое сечение. Это в свою очередь делает необходимым некоторый вынос точек питания антенны из ее плоскости с целью уменьшения емкости между узлом питания и штангой. Указанный вынос должен составлять 30—50 мм от поверхности штанги. Это осуществляется каким-либо изолятором, например пенопластом, который жестко прикрепляется к несущей штанге симметрично относительно точек питания с таким расчетом, чтобы соблюсти геометрическую симметрию антенны. При этом изолятор можно выполнить таким образом, что он одновременно обеспечит относ точек питания и их защиту от попадания влаги, снега, дождя и т. п. На рис. 30 конструкция изолятора не приведена, так как ее выполнение может быть произвольным. Другая особенность конструкций, представленных на рис. 30, состоит в том, что в зависимости от того, как выполнены узлы *А*, поперечные стержни могут работать либо на изгиб и сжатие, либо только на сжатие. Достаточно в узле *А* крепление изолятора *1* к раме выполнить нежестким, т. е. способным поворачиваться на некоторый угол относительно шурупа или винта, как поперечные стержни с механической точки зрения начинают работать только на сжатие. Это позволяет их сечение выбирать несколько меньшим, а следовательно, уменьшить парусность и массу антенны. Конструкции антенн, выполняемые в соответствии с рекомендациями рис. 30, могут использоваться с рефлекторами различных типов. С этой целью несущая штанга должна крепиться на стойках в области точек нулевого потенциала. Крепление может быть осуществлено любыми способами, которые приведены в соответствующих разделах данной книги. В порядке рекомендации можно сказать, что антенное устройство существенно выиграет, если основные конструктивные решения будут перенесены и на рефлектор.

При сохранении основных достоинств антенн из тонких проводников подключение кабеля в точке питания представляет известные трудности. В частности, питание витком связи затруднено тем, что получение требуемого волнового сопротивления в ветвях ромбической ячейки при применении провода 0,25 мм весьма сложно. Видимо, при попытке реализации такого питания надо проводники для ячейки и витка связи выполнять многожильным соответствующим свиванием изолированных проводов. Технически это несложно, однако получение требуемого волнового сопротивления потребует измерений уровня согласования. Что касается расчета волнового сопротивления подобных многопроводных систем, то точность расчета будет недостаточной. Поэтому при использовании симметрирующего трансформатора, представленного на рис. 26, подключение кабеля надо осуществлять следующим образом: к трансформатору прежде подключается кабель типа РК 75-4-11, трансформатор вставляется в

соответствующий кожух, сквозь который выводятся выводы вторичной обмотки. Кожух герметизируется. Выводы вторичной обмотки подключаются в точки питания антенны возможно более короткими проводниками. Кожух трансформатора при этом прикрепляется к несущей штанге, а кабель прокладывается вдоль нее и в нескольких местах закрепляется хомутиками.

Подключение кабеля в точке питания антенны возможно через трансформирующее звено, являющееся продолжением кабеля, которое выполняется по рекомендациям, данным в соответствующих разделах. Кабель с трансформирующим звеном при этом укладывается вдоль половины одной из рамок антенны и в точках соединения герметизируется одним из описанных способов. Если допустить уровень согласования антенны с кабелем порядка КБВ$\geqslant$0,4, то кабель может быть подключен без трансформатора. Это наиболее простой вариант подключения кабеля. Кабель при этом укладывается вдоль токонесущего провода и выводится из полотна антенны через область нулевого потенциала. В антеннах, представленных на рис. 30, могут быть реализованы все рекомендации по улучшению входных характеристик диапазонной антенны. При этом в качестве механической основы надо использовать прочные диэлектрические нити, а в качестве токонесущих проводников — провод малого сечения. На этой основе может быть выполнена самая разнообразная геометрия как антенн, так и элементов для ее согласования.

ДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА С РЕФЛЕКТОРОМ

РАЗЛИЧНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ РЕФЛЕКТОРА

Одним из способов получения однонаправленного излучения и увеличения коэффициента усиления является установка излучателей около металлического экрана, называемого рефлектором.

Рефлектор выполняется либо в виде металлической сетки, либо в виде однолинейной системы проводников, параллельных вектору электрического поля (горизонтальных при приеме горизонтального поляризованного поля и вертикальных при приеме вертикально поляризованного поля).

Для приема телевизионного вещания размеры рефлектора по обоим измерениям составляют не менее половины длины волны ($L_E = L_H \geqslant 0{,}5\lambda_{max}$). Увеличением размеров рефлектора можно свести к минимуму уровень задних лепестков диаграммы направленности. Так, при перекрытии полотна диапазонной направленной антенны плоским рефлектором на $(0{,}07 \div 0{,}12)\lambda_{max}$ побочное излучение составляет 0,1—0,15 от излучения в прямом направлении, а при перекрытии $(0{,}05 \div 0{,}10)\lambda_{max}$ соответственно 0,15—0,21. Эти соотношения позволяют ориентировочно выбирать размеры плоского рефлектора.

Выполнение рефлектора в виде сеток, в том числе и однолинейных, обусловливает прямое просачивание энергии излучателя в заднее полупространство, что накладывает требования на толщину проводников, заполняющих полотно рефлектора, и на расстояние между ними. Для приемных телевизионных антенн можно рекомендовать толщину проводников $(0{,}001 \div 0{,}0005)\lambda$, а расстояние между ними $(0{,}03 \div 0{,}05)\lambda$. При этом ожидаемый уровень обратного излучения составит $(0{,}05 \div 0{,}2)E_{max}$. Значительное колебание уровня обратного излучения связано с различными конструктивными особенностями рефлектора.

Для заполнения полотна рефлектора могут быть применены алюминиевая проволока или тонкие трубы, оцинкованное железо в виде проволоки или лент, а также различные виды сеток.

Рассмотрим одно из конструктивных решений выполнения рефлектора в виде однолинейной сетки. Рефлектор выполнен из дюралюминиевых или медных труб. Основу рефлектора составляет несущая штанга (рис. 31*а*), сквозь которую пропущены более тонкие трубки, образующие однолинейную сетку. Диаметр труб, заполняющих полотно рефлектора, целесообразно выбрать равным 6 мм. Обрамляющие трубы могут быть выбраны диаметром 12—16 мм. Крепление труб друг к другу может быть произвольным. Рекомендации по выполнению основных узлов рефлектора и размеры представлены на рис. 31. Размеры, указанные в виде буквенных обозначений, приведены в табл. 10 применительно к различным диапазонам частот.

Места крепления антенны к рефлектору показаны на рис. 31 крестиками. Крепление к рефлектору осуществляется с помощью металлических или диэлектрических стоек.

На рис. 16 представлен вариант антенны для работы в 6—12-м каналах с трубчатым излучателем. Рефлектор, изготовленный описанным выше способом, обладает достаточной прочностью, однако в диапазоне соответствующем 1—5-му каналам телевидения, его размеры велики и в качестве заполнения рефлектора целесообразнее применить тонкие проводники.

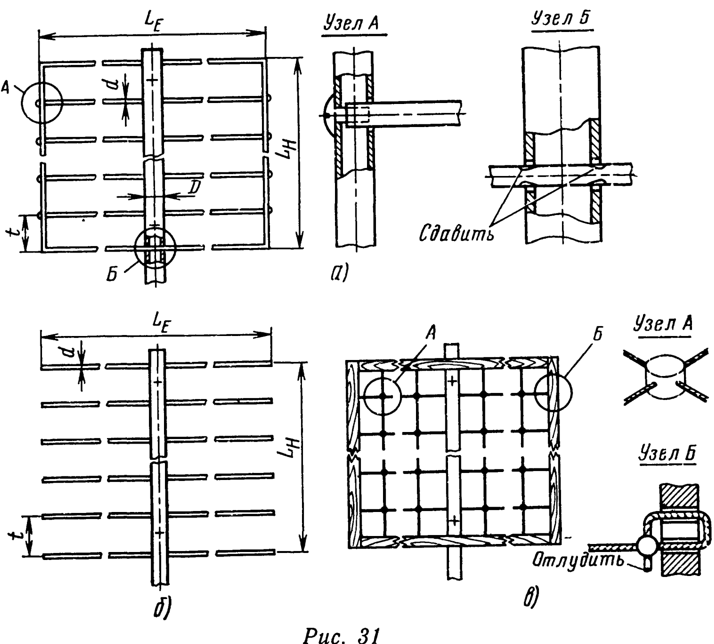


Рис. 31

Другая конструктивная разновидность рефлектора представлена на рис. 31*б*. В отличие от варианта (*а*) здесь отсутствует обрамление и ветровую нагрузку несут стержни, составляющие полотно. Этот вариант целесообразно применять при конструировании антенны в расчете на прием по 1—5-му каналам, так как в данном случае полотно рефлектора обладает меньшей парусностью.

Таблица 10

Размер	Значения для каналов		
	1—5-го	6—12-го	21—39-го
L_E	3000	900	350
L_H	3300	1000	400
t	300	80	30

Основные размеры выбираются в соответствии с табл. 10 и рис. 31. На рис. 31*в* представлена сетчатая конструкция рефлектора. Способ изготовления представлен на рисунке. Особенностью конструкции является выполнение сетки из тонкой проволоки или троса, диаметром 0,5—1,0 мм. Обрамление может быть изготовлено как из дерева, так и из металла. Варианты фиксации троса (узел *А*) показаны на рисунке. С этой целью изготавливается деталь в виде

пломбы с двумя взаимно перпендикулярными отверстиями. Диаметр этой детали может быть 8—10 мм. Деталь может быть изготовлена из алюминия, стали, капрона и т. п. Если она изготавливается из металла, то фиксация проводников производится сдавливанием, а при изготовлении из капрона — подогревом с одновременным сжатием. Рассмотренные варианты конструкции рефлектора далеко не исчерпывают возможных решений. Необходимо только сохранить основные размеры и не допускать возможности образования контактных помех, особенно в метровом диапазоне волн.

Расстояние, на котором устанавливается излучатель перед рефлектором, выбирается в зависимости от требуемого диапазона частот работы антенны. При работе антенны в максимально широкой полосе частот расстояние до рефлектора должно быть возможно минимальной величины. Критерием в данном случае является требуемое согласование антенны. Так, для получения уровня КБВ $\geqslant$ (0,5÷0,6) минимальное расстояние $d_р/\lambda = 0{,}14 \div 0{,}15$. В этом случае возможно получение указанного согласования; на средних частотах усиление антенны близко к оптимальному, а на верхних частотах побочное излучение еще является допустимым. Входное сопротивление диапазонной антенны изменяется в полосе частот в пределах 120—150 Ом. Усиление антенны «диапазонная антенна — рефлектор» в двукратном диапазоне составляет 6—7 дБ.

РАМОЧНЫЙ РЕФЛЕКТОР

Рассмотренный выше плоский рефлектор позволяет получать однонаправленное излучение в широкой полосе частот, однако антенна получается относительно громоздкой. Это накладывает более жесткие требования на прочность мачты, что в радиолюбительской практике порой является решающим фактором.

Желательно иметь по возможности меньший рефлектор с минимальным заполнением его поверхности, а также с возможно минимальной массой. Этим требованиям отвечают в какой-то степени рамочные рефлекторы. Хотя рамочные рефлекторы в радиолюбительской практике применяются, сведений об их свойствах, принципе действия и конструктивном выполнении мало. Экспериментально установлено, что рамочные рефлекторы при их правильном построении по диапазонности не уступают плоскому рефлектору и имеют при этом небольшие размеры и относительно небольшую парусность.

Простейший рамочный рефлектор может быть выполнен в двух вариантах: с ориентацией проводников в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рис. 32*а*) и в диагональном исполнении (рис. 32*б*). Практически оказывается выгодным применять диагональные рефлекторы, так как наибольшая длина волны, где еще возможна работа рефлектора, определяется максимальным размером рефлектора в плоскостях E и H.

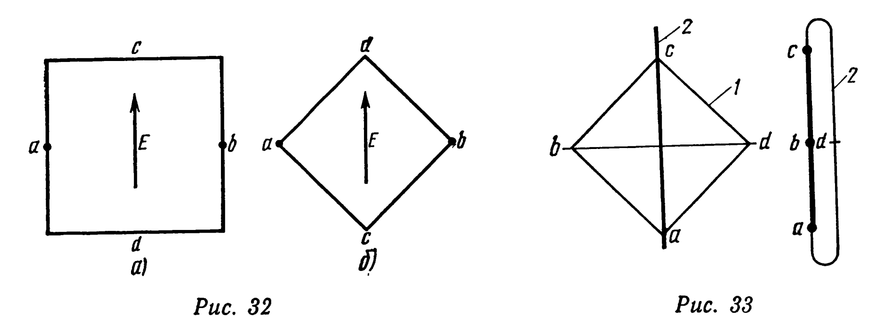


Рис. 32 *Рис. 33*

С конструктивной точки зрения диагональный рамочный рефлектор лучше сопрягается с конструкцией диапазонной направленной антенны. Рамочный рефлектор, изображенный на рис. 32, обладает рефлектирующим действием в узкой полосе частот. При размерах диагоналей 0,5λ относительная полоса частот составляет 5—10%, что недостаточно при необходимости использования антенны в широкой полосе частот.

Исследование рамочных рефлекторов показало, что расширение полосы частот возможно путем введения в конструкцию рефлектора индуктивной перемычки в виде петли.

Рассмотрим один из вариантов широкополосного рамочного рефлектора, изображенного на рис. 33. Он состоит из рамки *1*, лежащей в плоскости, параллельной плоскости излучателя, и перемычки в виде петли *2*, расположенной по диагонали рамки *1*. Петля при этом находится в плоскости, параллельной вектору напряженности электрического поля. Точки *b* и *d* являются точками нулевого потенциала и потому к ним возможно крепление стоек, на которые устанавливается диапазонная антенна. Петля *2* гальванически связана с рамкой *1*. Рамка и петля образуют подобие полного индуктивного сопротивления на некоторой эквивалентной поверхности, в результате чего происходит формирование однонаправленного излучения. На рис. 34 показано антенное устройство, состоящее из рамочного рефлектора с перемычкой в виде петли и диапазонной антенны. Основные размеры рамочного рефлектора следующие: длина петли $l=(0{,}4\div0{,}52)\lambda_{max}$; сторона рамки $0{,}28\lambda_{max}$, расстояние между плоскостями рефлектора и излучателя $d_р=0{,}14\lambda_{max}$, ширина петли $b=(0{,}05\div0{,}07)\lambda_{max}$.

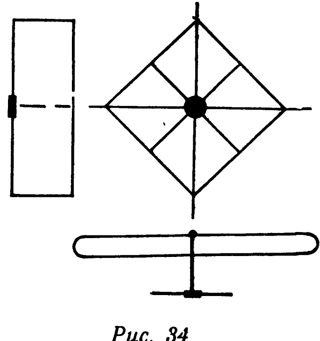


Рис. 34

На рис. 35 для различных частот представлены диаграммы направленности антенны с рамочным рефлектором, из которых видно, что по свойствам рамочный рефлектор с перемычкой превосходит аналогичный рефлектор.

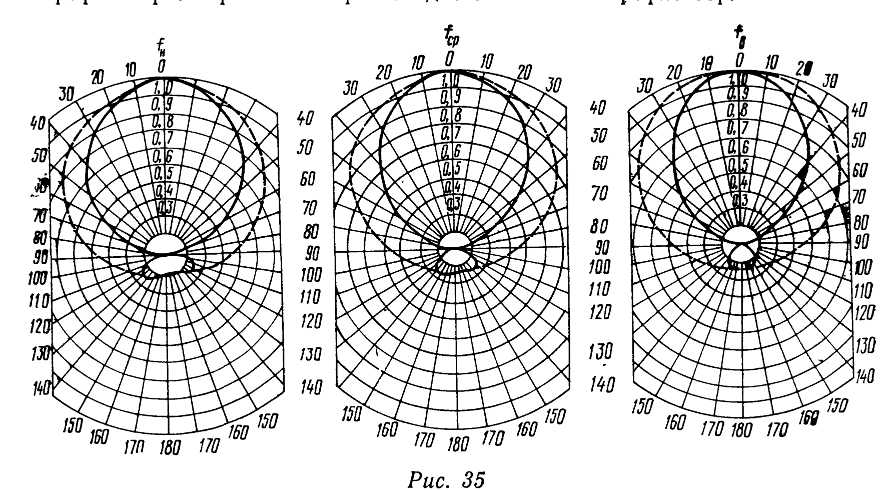


Рис. 35

На рис. 36 показано изменение обратного излучения в диапазоне со значением $K_f=2$ в зависимости от конфигурации перемычки рамки. В качестве излучателя использовалась диапазонная антенна. Основные размеры излучателя и рефлектора, соответствующие кривым *1*, *2*, *3* на рис. 36: $L/\lambda_{max}=0{,}6$; 0,52; 0,52; $d_р/\lambda_{max}=0{,}14$; 0,14; 0,25; $S_р=S_H=0{,}5\lambda_{max}$; $D/\lambda_{max}=0{,}05$; 0,05; 0,05. Из рисунка видны возможные пути снижения обратного излучения.

Представляют интерес другие возможные пути выполнения перемычек рамочного диагонального рефлектора. На рис. 37 показаны некоторые варианты рефлектора в виде рамки с перемычкой в диагонали *E* (стрелкой показано направление вектора напряженности электрического поля). Рефлектор рис. 37*а* удовлетворительно работает в полосе частот с перекрытием $K_f=1{,}5$. Размер стороны рамки должен составлять $L\geqslant0{,}35\lambda_{max}$, остальные размеры, отнесенные

к стороне рамки: $h/L=0{,}2\div0{,}3$; $l/L=1{,}4$; $d_п/L=0{,}015\div0{,}03$. Рамочный рефлектор с перемычкой, изображенной на рис. 36*б*, имеет несколько более широкую полосу частот, чем вариант рис. 36*а*. Коэффициент перекрытия в данном случае $K_f=1{,}5\div1{,}7$ при длине стороны рамки $L\geqslant0{,}35\lambda_{max}$. Размеры h и l могут быть взяты из варианта рис. 36*а*, $N=7\div9$. Лучшие результаты получаются, если выполнить рефлектор по схеме рис. 36*в*. В полосе частот с перекрытием $K_f=1{,}7$ обратное излучение изменяется в пределах $(0{,}17\div0{,}13)E_{max}$. Конфигурация рефлектора видна из рисунка. Размеры такого рефлектора следующие: $L=(0{,}32\div0{,}35)\lambda_{max}$; $h/L=0{,}2\div0{,}3$; $d_п/L=0{,}01\div0{,}02$; $t/L=0{,}25\div0{,}03$.

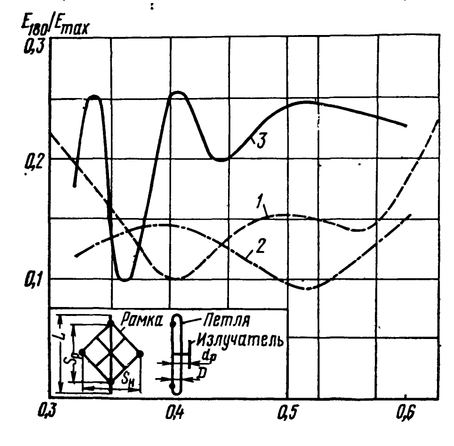


Рис. 36

Следует отметить, что возбуждение рамочного рефлектора другими излучателями, к примеру полуволновым вибратором, практически не приводит к существенному увеличению широкополосности по уровню обратного излучения. Конструктивная реализация рамочного рефлектора в значительной степени зависит от диапазона частот.

Ниже приводится описание конструкции рефлектора, рассчитанного на работу в 6—12-м каналах. Рефлектор в основе содержит рамку с петлей. Механически они закреплены на несущей штанге, которая может быть в дальнейшем частью конструкции многоэлементной антенны либо являться продолжением мачты самостоятельной конструкции. Рамочный рефлектор выполнен из полоски металла с относительно хорошей проводимостью либо из стали с соответствующим покрытием (цинк, кадмий и т. п.). На рис. 38 представлен общий вид рефлектора и приведены его основные размеры. Подготовленные полоски скрепляются друг с другом и со штангой посредством заклепок либо винтов. Точки крепления стоек антенны и плоскость ее расположения относительно рефлектора показаны на рис. 38.

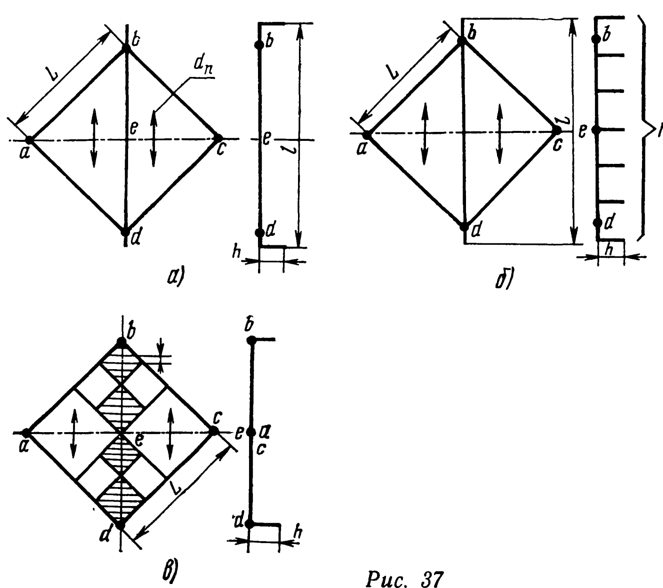


Рис. 37

Рефлектор, выполненный в соответствии с рис. 38, обладает удовлетворительными характеристиками в диапазоне частот 174—230 МГц при обратном излучении $(0,15 \div 0,2)E_{max}$. Если антенну выполнить на базе аналогичных конструктивных элементов, то антенное устройство получает дополнительные преимущества: простота изготовления и прочность. Аналогичный рефлектор может быть изготовлен в расчете на работу по 21—39-м каналам. Для этого достаточно соответствующим образом уменьшить его размеры и размеры элементов конструкции.

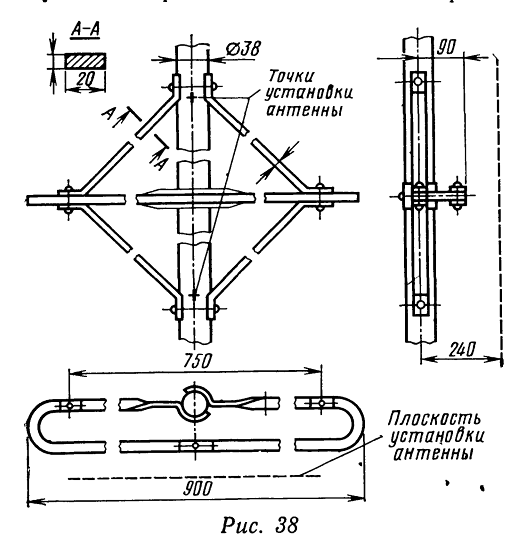


Рис. 38

При изготовлении рамочного рефлектора с петлей в диапазоне частот, соответствующем 1—5-му каналам, необходимо в качестве элементов рамки брать тонкий провод или трос, а в качестве материала петли брать прочный легкий материал, например трубу диаметром 16 мм. В качестве элементов конструкции могут быть использованы аналогичные решения, описанные выше. Большие размеры рефлектора в данном случае в какой-то степени компенсируются применением в качестве материала рамки тонкого проводника.

РЕФЛЕКТОР В ВИДЕ ЛИНЕЙНЫХ ВИБРАТОРОВ

Работу антенного устройства в виде диапазонной антенны с рефлектором из линейных вибраторов иллюстрирует рис. 39.

При установке двух вибраторов, имеющих индуктивный характер сопротивления ($l \geqslant \lambda/2$), происходит образование однонаправленного излучения в сторону излучателя. Особенностью построенного таким образом однонаправленного антенного устройства является относительно широкая полоса рабочих частот. В частности, когда обратное излучение не превышает $E_{обр}/E_{max}=0,3$, K_f составляет не менее 40—50%. Нетрудно заметить, что при увеличении числа вибраторов, составляющих рефлектор, последний переходит в рассмотренный ранее плоский однолинейный рефлектор. Несколько лучшие диапазонные свойства имеет рефлектор, если вместо линейных применить петлевые вибраторы. В этом случае имеет место более широкая полоса частот, в которой обратное излучение относительно невелико. Увеличение числа петлевых вибраторов приводит к снижению уровня обратного излучения и расширению полосы частот.

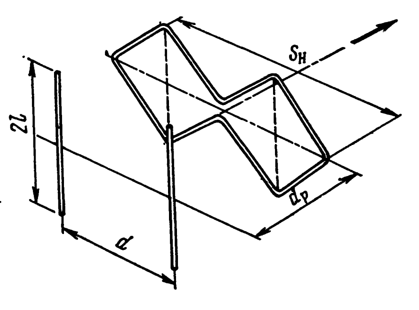


Рис. 39

На рис. 40 схематично представлена антенна с рефлектором в виде петлевых вибраторов. Здесь рама *1* является несущей. Она располагается в *H*-плоскости симметрично излучателю *2*. Излучатель может быть выполнен одним из перечисленных выше способов. На раме *1* крепятся петлевые рефлекторы *3*. Крепление антенны к мачте схематично показано на рисунке, при этом штанга может быть металлической. Основные размеры антенны следует выбирать из следующих соотношений: как и ранее, размер антенны в плоскости *H*

$S_H/\lambda_{max}=0{,}55\div0{,}6$, остальные размеры элементов, отнесенные к размеру излучателя в плоскости H излучателя: $2l/S_H=0{,}81$; $d_H/S_H=0{,}5$; $d_p/S_H=0{,}22$. Например, при указанных размерах элементов конструкции антенны были получены следующие параметры в диапазоне частот 48,75—85 МГц, $D_{пр}=5\div6$ дБ; КБВ$\geqslant$0,54; уровень обратного излучателя $E_{обр}/E_{max}<0{,}3$.

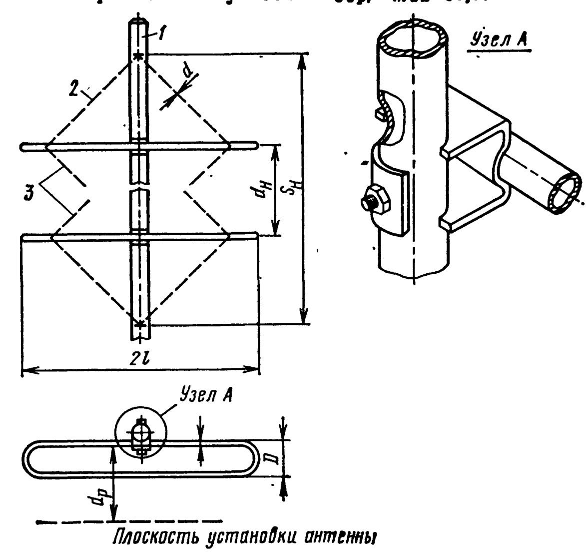


Рис. 40

Если допустить $E_{обр}/E_{max}\leqslant0{,}45$, то возможна работа антенны в диапазоне 48,75—100 МГц; при этом КБВ$\geqslant$0,54, а $D_{пр}=5$ дБ.

РЕШЕТКИ ИЗ ДИАПАЗОННЫХ АНТЕНН

ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ $E\cdot H$-РЕШЕТОК

Одним из способов повышения эффективности антенны является построение многоэлементных $E\cdot H$-решеток. Простейшая решетка строится путем размещения излучателей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Применение в качестве излучателя диапазонной антенны имеет определенные преимущества. Указанная антенна имеет четко выраженную направленность в обоих плоскостях. Согласование таких решеток облегчается тем, что антенна имеет относительно высокое входное сопротивление, слабо изменяющееся в широкой полосе частот. Конструктивное выполнение подобных решеток также является весьма простым, что обусловлено возможностью механической связи излучателей друг с другом и рефлектором через точки нулевого потенциала. На рис. 41 схематично показана связь излучающих элементов *1* в решетке друг с другом посредством связей *2* с рефлектором *3*. Наличие связей *3* позволяет предъявлять к рефлектору менее жесткие требования, а также раз-

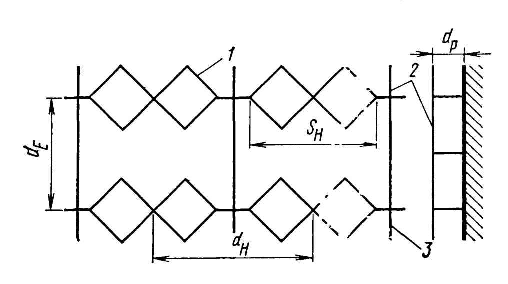


Рис. 41

мещать вдоль них распределительные кабели. Варианты антенны, представленные на рис. 42, 43, могут работать в двукратном диапазоне частот при уровне КБВ⩾0,5; при увеличении количества излучателей до 8 возможно получение коэффициента усиления до 18 дБ.

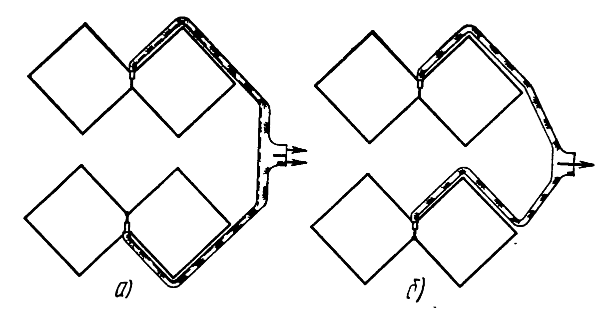


Рис. 42

Для диапазонной антенны расстояние между излучателями выбирают в пределах d_E, $d_H=(0{,}5\div1{,}0)\lambda$. Если перекрытие диапазона близко к двум ($K_f=2$), то значение $d_{E,H}$ выбирают из условия обеспечения нормальной работы в области коротких волн: $d_{E,H}=0{,}5\lambda_{max}=\lambda_{min}$. Чем уже диапазон частот, тем ближе должно быть значение $d_{E,H}$ к оптимальному $d_{E,H}\approx(0{,}7\div0{,}8)\lambda$. Такой выбор расстояния между излучателями позволяет получить наибольшее усиление в диапазоне. При этом уровень побочного излучения не превышает $0{,}4E_{max}$.

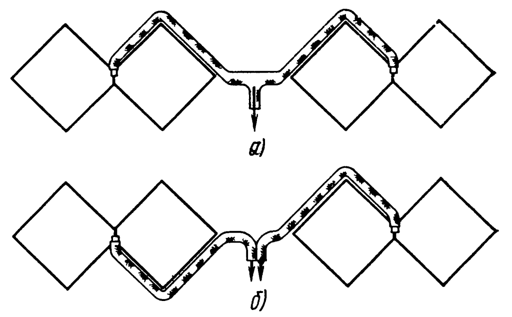


Рис. 43

СПОСОБЫ СОГЛАСОВАНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ РЕШЕТОК

Способы подключения кабелей к решеткам, составленным из диапазонных направленных антенн, имеют некоторые специфические особенности. К ним можно отнести возможность последовательного и параллельного соединений излучателей, возможность использования симметричного кабеля, подключение коаксиальных кабелей без применения симметрирующих устройств и т. д. Все эти особенности имеют место и в других антеннах, однако в данном случае представляется возможность подключения излучателей несколько иными способами. Например, варианты параллельного соединения излучателей, показанные на рис. 42*а* и рис. 43*а* для соединений в *E*- и *H*-плоскостях, характерны возможностью симметричного подключения коаксиальных кабелей, возможностью их прокладки вдоль механических связей, соединяющих излучатели в точках нулевого потенциала. Это позволяет надежно защитить кабели от механических повреждений и существенно упрочнить полотно антенны.

При последовательном соединении излучателей механические связи остаются аналогичными связям с параллельным соединением. Последовательное питание отличается другим способом соединения питающих кабелей, идущих от излучателя, и переворотом плоскости излучателя (рис. 42*а* и 43*б*). Представленные на указанных рисунках решетки состоят из двух излучателей. Аналогично построение решеток и с большим числом излучателей: либо излучатели объединяются в группы, которые далее соединяются друг с другом, либо питающие фидеры всех излучателей объединяются в одной точке. Выбор построе-

Количество излучателей $N \times N_H$	Схема питания антенны	Основные параметры элементов системы питания l_i/λ_{max}; W_i, Ом	Волновое сопротивление питающего фидера
1×1	l_1, W_1; l_2, W_2	$l_1=0{,}22$, l_2=произвольно; $W_1=90$, $W_2=15$	75
1×1	l_1, W_1; l_2, W_2	$l_1=0{,}166$, l_2=произвольно; $W_1=90$, $W_2=75$	75
1×1	l_1, W_1; l_2, W_2	$l_1=0{,}200$, l_2=произвольно; $W_1=110$, $W_2=75$	75
2×1	l_1 ; W_1	l_1=произвольно; $W_1=150$	75
2×1	l_1 ; W_1	$l_1=1{,}53$; $W_1=100$	75
2×1	l_1 ; W_1; l_2 W_2	$l_1=1{,}5$, $l_2=0{,}18$; $W_1=100$, $W_2=60$	75
2×2	l_1;W_1; l_2 W_2; l_1;W_1; l_3;W_3	$l_2=0{,}12$, $l_3=0{,}18$; $W_1=150$, $W_2=100$, $W_3=60$; l_1=произвольно	75
2×4	1, 2, 3, 4, 5	$l_1=0{,}64$, $l_2=0{,}78$, $l_3=0{,}82$, $l_4=0{,}65$, $l_5=0{,}18$; $W_1=100$, $W_2=100$, $W_3=100$, $W_4=100$, $W_5=63$	75
4×4	1, 2, 3, 4, 5	$l_1=1{,}12$, $l_2=1{,}82$, $l_3=1{,}1$, $l_4=1{,}2$, $l_5=0{,}30$; $W_1=100$, $W_2=100$, $W_3=100$, $W_4=100$, $W_5=50$	50

Таблица 11

s_E	s_H	d_p	d_E	d_H	d_n	K_f	КУ, дБ	КБВ	Тип рефлектора
0,33	0,47	0,19	—	—	0,01	2	6	0,5	Плоский однолинейный
0	0,6	0,19	—	—	0,01	8	7	0,5	Плоский однолинейный
0,35	0,5	0,17	—	—	0,003	1,8	5—6	0,5	В виде двух петель
0,21	0,46	0,18	0,53	—	0,013	2	10—11	0,6	Плоский однолинейный
		0,16		—	0,02	1,2	10	0,6	Плоский
		0,2		—	0,03	13	11	0,6	Плоский
0,21	0,46	0,18	0,53		0,013	2	11—13	0,55	Плоский
—	—	0,155	0,97	0,74	0,012	1,2	14	0,7	Рамочный с петлевой перемычкой
0,25	0,5	0,14	0,85	0,85	0,015	1,2	16	0,6	Рамочный рефлектор

ния зависит от типа кабеля, примененного для питания излучателей, возможности реализации трансформирующих звеньев, волнового сопротивления кабеля и т. д.

В табл. 11 приведены варианты построения систем питания многоэлементных антенных решеток и показан достигнутый при этом уровень согласования с фидером. Здесь же указаны основные конструктивные параметры антенных устройств и полученные при этом коэффициенты усиления. Данные таблицы позволяют ориентироваться при разработке антенных решеток.

Согласование решеток облегчается при применении четвертьволнового сдвига между элементами многоэлементной решетки.

Выравнивание фазового фронта производится соответствующим пространственным разносом излучателей вдоль фокальной оси антенны. Схематично четвертьволновый сдвиг между идентичными элементами показан на рис. 44. Наличие четвертьволнового сдвига приводит к увеличению широкополосности антенны. На рис. 44 показано изменение входного сопротивления при обычном параллельном соединении излучателей (кривая *1*) и при соединении их с четвертьволновым сдвигом (кривая *2*). Как видно из рисунка, при применении четвертьволнового сдвига суммарное входное сопротивление изменяется в меньшей степени, чем при параллельном соединении без сдвига.

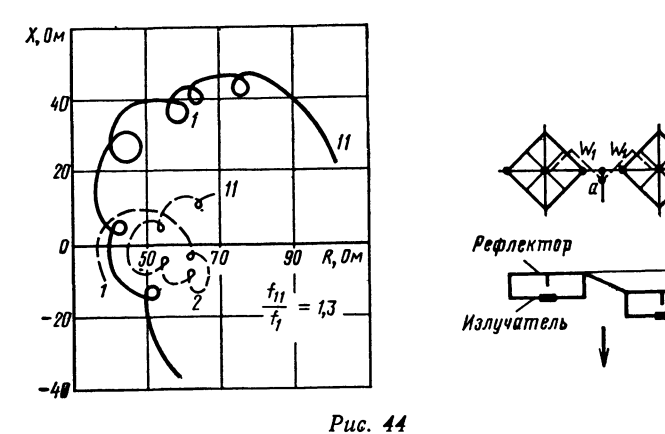


Рис. 44

Следует заметить, что если четвертьволновый сдвиг дает хорошие результаты при согласовании элементов антенны с фидером, то для получения удовлетворительных диаграмм направленности необходимо выполнить определенные требования. Одно из требований состоит в том, что излучатели, соединяемые с четвертьволновым сдвигом, должны иметь достаточно узкую диаграмму направленности. Это необходимо для уменьшения побочного излучения. По этой причине четвертьволновый сдвиг целесообразнее выполнять не между отдельными излучателями, а между их группами, так как группа излучателей имеет более узкую диаграмму направленности. При выполнении четвертьволнового сдвига между отдельными элементами целесообразно дополнительно фокусировать их излучение с помощью направляющих структур. Надо отметить, что применение четвертьволнового сдвига дает возможность существенно снизить уровень обратного излучения.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ДИРЕКТОРНЫХ СТРУКТУР ДИАПАЗОННОЙ НАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННОЙ

В обычном исполнении директорная антенна (типа «волновой канал») образуется из вибраторов, размещенных вдоль линии излучения. Длина вибраторов близка к половине длины волны. Для получения однонаправленного излучения впереди активного вибратора размещается группа вибраторов, имеющих

емкостный характер сопротивления (вибратор короче $\lambda/2$), а сзади располагается один или несколько вибраторов, имеющих индуктивный характер сопротивления (вибратор длиннее $\lambda/2$). Возбуждение таких структур осуществляется чаще всего полуволновыми вибраторами. Несмотря на конструктивные преимущества антенны, ее применение порой ограничивается узкополосностью. Рассмотрим антенну, возбуждаемую диапазонной антенной. Интерес к таким антеннам возникает при необходимости иметь коэффициент перекрытия диапазона порядка двух и более. Директорная структура как система относительно узкополосная настраивается на выбранную область диапазона, при этом коэффициент усиления повыщается в этой области. Рассмотрим, когда же выгодно применять диапазонную антенну для возбуждения директорных структур. Ограничение полосы пропускания директорной антенны связано с узкой полосой пропускания по входному сопротивлению активного излучателя и ухудшением направленных свойств директорной структуры. Попытки улучшить диапазонные свойства с точки зрения входного сопротивления приводят к необходимости утолщения активного излучателя и к усложнению устройства его питания, которые должны обеспечить симметрирование и согласование. Направленные свойства оказываются ограниченными по частоте сверху из-за невозможности обеспечить емкостный характер директоров при их длине, большей половины длины волны. Ограничение же снизу заключается в монотонном спадании коэффициента усиления по мере уменьшения частоты. Возбуждение директорных структур диапазонной антенной позволяет в какой-то степени более эффективно использовать свойства директорных антенн.

Рассмотрим диапазонную антенну, установленную около плоского рефлектора. Ее усиление составляет при этом 4—5 дБ по сравнению с полуволновым вибратором, работающим в диапазоне $f_н$—$2f_н$. Изменение коэффициента усиления по диапазону от 4 до 5 дБ не является предпочтительным, так как для компенсации затухания на трассе распространения радиоволн по мере роста частоты необходим более быстрый рост коэффициента усиления. Этот недостаток устраняется с помощью устройства в виде директорной структуры, возбуждаемой диапазонной антенной. В данном случае, настроив директорную структуру на максимальную направленность в области частот $2f_н$, можно получить частотную зависимость коэффициента усиления, близкую к требуемой, а также некоторое увеличение усиления в области частот $f_н$. Кроме того, на более высокое и слабо зависящее от частоты входное сопротивление диапазонной направленной антенны относительно мало влияют небольшие наведенные сопротивления от элементов директорной структуры. Следовательно, указанное построение директорной антенны позволяет получить такие качества, как диапазонность и требуемое изменение коэффициента усиления по диапазону. В зависимости от выбора длин вибраторов директорной структуры при прочих равных условиях может быть получена одна из приведенных на рис. 45 кривых (кривая *1* — антенна без директоров; *2* — директоры настроены на верхнюю частоту диапазона; кривая *3* — директоры настроены на среднюю частоту диапазона).

В качестве примера приведем некоторые результаты экспериментального исследования директорных структур, возбуждаемых диапазонной антенной. В табл. 12 представлены основные размеры директорной структуры, возбуждаемой соответственно полуволновым вибратором и диапазонной направленной антенной. При этом длина антенны $L=2{,}8\lambda_{min}$, количество вибраторов $N=12$.

Таблица 12

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d_N	0,1	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	0,27	0,3	0,33	0,35	0,38
$2l_H$	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38

Директорная структура, возбуждаемая полуволновым вибратором, работает в диапазоне с перекрытием $K_f=1{,}3$; КБВ$\geqslant 0{,}6$; $D_{пр}$ изменяется в пределах 10,5—13 дБ. При возбуждении диапазонной антенной перекрытие данного диапазона составляет $K_f=1{,}7$; КБВ$\geqslant 0{,}5$; изменение $D_{пр}$ в пределах 8—13 дБ. При этом происходит более полное использование свойств директорной структуры, а также имеет место требуемое изменение коэффициента усиления для компенсации увеличения затухания на трассе по мере роста частоты. Возбуждение директорных структур диапазонной антенной дает результаты, близкие к результатам, получаемым при возбуждении линейными вибраторами. Основное преимущество состоит в том, что диапазонной антенной можно возбудить, в принципе, структуры, настроенные на отдельные области, лежащие в пределах работы диапазонной антенны. Следовательно, выполнив базовую конструкцию со значением $K_f=2\div3$, можно далее возбуждать любую директорную структуру, настроенную на соответствующий диапазон, лежащий внутри диапазона базовой антенны.

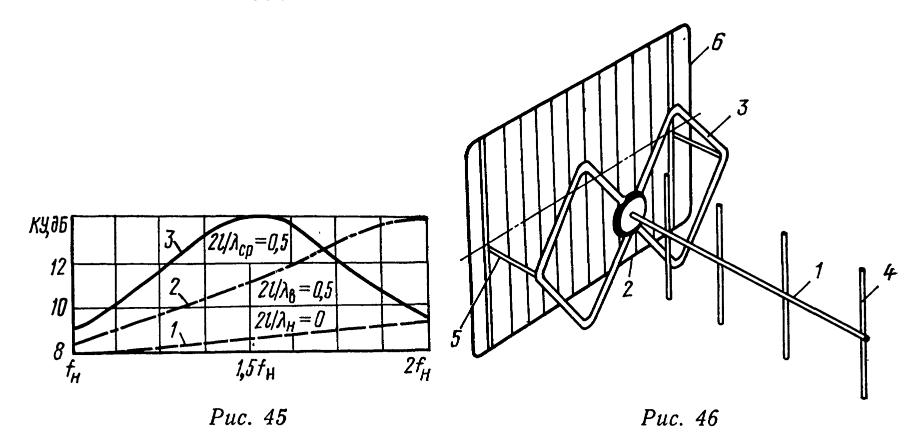


Рис. 45 *Рис. 46*

Подводя итог сказанному, можно отметить следующие характерные моменты при возбуждении директорных структур диапазонной направленной антенной.

1. Основные соотношения для директорных структур остаются теми же, что и при возбуждении полуволновым вибратором. Некоторый выигрыш получается при небольшом количестве вибраторов (три—пять). Выигрыш при этом достигает 0,5—1,0 дБ, что связано с несколько бо́льшим коэффициентом усиления диапазонной направленной антенны. В частности, при возбуждении трех директоров диапазонной направленной антенной получается коэффициент усиления 8,3—8,9 дБ, тогда как при возбуждении полуволновым вибратором усиление оказывается ниже не менее чем на 1 дБ.

2. При возбуждении директорных структур указанным способом диапазон работы антенного устройства ограничен снизу размером S_H, который должен быть не менее $S_H/\lambda_{max}\geqslant 0{,}4$, а сверху — длиной директора $2l/\lambda_{min}\leqslant 0{,}5$. Эти условия должны соблюдаться при разработке антенн.

3. Для создания оптимальных антенных устройств возможно использование сменных директорных структур.

4. Режим работы антенного устройства зависит от выбора длин вибраторов. Наиболее выгодный режим работы имеет место при максимуме коэффициента усиления в средней области диапазона.

5. В отношении входных характеристик директорная антенна с диапазонным излучателем менее критична к размерам и изменению частоты. Это обусловливает относительно лучшее сохранение параметров антенны при воздействии таких факторов, как снег, оледенение по сравнению с классическим аналогом.

Конструктивно директорная структура располагается вдоль фокальной линии антенны, как показано на рис. 46. Если ее крепление осуществляется в

центре антенны, то металлическая штанга *1* крепится на прочном изоляторе *2* в области точек подключения кабеля к излучателю *3*, который должен обладать определенной жесткостью и обеспечивать крепление штанги *1* с директорами *4*. В свою очередь, излучатель *3* крепится посредством стоек *5* к рефлектору *6*.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АНТЕНН ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРОГРАММ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В предыдущих разделах были описаны элементы антенн с точки зрения электрических свойств и их возможные конструктивные решения. В частности, были рассмотрены основные свойства диапазонной антенны: изменение входного сопротивления и диаграмм направленности по диапазону; показаны основные конструкции рефлекторов и их электрические свойства; даны зависимости основных размеров антенны и различных рефлекторов от выбранного диапазона частот. Кроме того, были показаны возможные пути улучшения направленных свойств антенны с помощью многоэлементных решеток и направляющих структур из линейных вибраторов (директоров).

Усложнение антенны вызывает трудности обеспечения согласования с подключаемой в точки питания линией передачи, поэтому были показаны возможные пути улучшения согласования и рассмотрены вопросы симметрирования антенны.

Все описанные конструктивные решения элементов антенн рекомендованы применительно к тому или иному диапазону частот. Критериями при этом являлись возможность изготовления и установления антенн при относительно небольших затратах; минимальные металлоемкость, масса и парусность. Предлагаемые автором конструкции антенн выполнены с учетом перечисленных факторов. Описанные антенны рассчитаны на перекрытие по частоте, равное 2, что позволяет реализовать конструкции для приема программ телевидения по 1—5, 6—12 и 21—40-му каналам. Более широкополосные антенны не рассматривались.

Все конструкции антенн в данной книге приведены в расчете на прием горизонтальной полярности. При необходимости приема вертикальной поляризации на чертежах вносятся соответствующие изменения, так как конструкция должна быть развернута в плоскости излучателя (или рефлектора) на 90°. В этом случае горизонтальной становится плоскость *H*. После изучения предыдущих материалов книги, думается, это не вызовет особых трудностей.

АНТЕННА, УСТАНАВЛИВАЕМАЯ В ОКОННОМ ПРОЕМЕ, ДЛЯ ПРИЕМА ТВ ПРОГРАММ ПО 6—12-МУ КАНАЛАМ

Исполнение диапазонной антенны из тонких проводников и питание витком связи без гальванического соединения кабеля с проводником антенны делают возможным изготовление достаточно простой антенны прямо на оконном проеме. Конструкция антенны, выполненной из тонких проводников, практически не затеняет окно, а эксплуатация и ремонт такой антенны значительно упрощается. Применение подобных конструкций возможно при определенных условиях, а именно: окно должно быть обращено в сторону телецентра с точностью до ±30°, чтобы сигнал попадал в характеристику направленности антенны. Подобные конструкции целесообразно изготавливать в черте города, где имеется уверенный прием телевидения. Антенна должна устанавливаться, по возможности, на верхних этажах здания. Следует отметить, что описываемая антенна может размещаться на стенах зданий; если стена железобетонная, то плоскость антенны должна быть отнесена от нее на расстояние 400—500 мм и антенна крепится на стойках. В данном случае стена будет выполнять функции рефлектора. Ниже приводится описание такой антенны, размещаемой в оконном проеме.

Общий вид антенны представлен на рисунке приложения 2. Антенна выполняется из троса или канатика. Толщина проводника может быть выбрана от 0,5 до 1 мм. Основные материалы для изготовления антенны: трос и изолированный провод, каждый толщиной 0,5—1 мм, текстолитовые пластины толщиной 2 мм, высокочастотный кабель типа РК 75-4-11, шурупы или винты. Для подключения антенны к кабелю необходим симметрирующий согласующий трансформатор, выполнение которого осуществляется в соответствии с рис. 26, 27 и приложения 1. Имея все указанное, можно приступить к изготовлению антенны.

Изготовление начинается с разметки основных координатных точек — мест установки изоляторов *2* на раме окна. Изоляторы крепятся к раме с помощью шурупов. Далее берется трос или проволока длиной около 3 м, запасовывается в изоляторы *2* и равномерно натягивается в соответствии с геометрией антенны. Для облегчения процедуры натягивания и симметрирования антенны целесообразно предварительно рассчитать длины проводников, а потом осуществить окончательную доводку геометрической формы антенны. Наиболее ответственной операцией является подключение кабеля к витку связи и размещение витка на проводниках антенны. На рис. 26, 27 в приложении 1 представлены симметрирующий трансформатор (его чертеж, параметры). В данной конструкции трансформатор должен быть заключен в защитный кожух, в который вводится с одной стороны кабель типа РК 75-4-11, а с другой — изоляционная трубка из какого-либо пластиката, сквозь которую пропускаются свободные концы витка связи. Размеры трубки должны быть минимальные. Основные функции защитного кожуха — предохранение точек подключения кабеля и витка связи от попадания дождя, снега и т. п., поэтому его конструкция должна быть герметичной.

До распайки трансформатора необходимо установить виток связи в ячейку антенны. С этой целью берется изолированный провод длиной около 2 м, которым равномерно обвивается ячейка антенны. При проведении этой операции надо тщательно и аккуратно укладывать изолированный провод в области изоляторов *2*. Основное требование — возможно более плотное прилегание изолированного провода к антенному тросу с целью получения однородной симметричной линии по всей длине ячейки антенны. Варианты размещения, фиксации троса и изолированного провода показаны в приложении 2. Выбор толщины провода и толщины изоляции должен производиться, исходя из требуемого волнового сопротивления. Наиболее характерные размеры даны в таблице на рис. 27. Если имеющиеся номиналы изолированного провода и троса не совпадают с приведенными в таблице, то можно воспользоваться формулами табл. 2. Описанная антенна при правильном монтаже и выборе соотношений между изолированным проводом и тросом обеспечивает удовлетворительную работу в диапазоне частот 170—230 МГц. При этом коэффициент усиления антенны составит 2—3 дБ, а уровень согласования может быть достигнут КБВ$\geqslant$0,45. Уровень согласования может быть улучшен путем включения последовательно с витком соответствующих реактивных элементов. При установке антенны около железобетонной стены усиление антенны составляет 5—6 дБ, но при этом волновое сопротивление линии, образованной тросом и изолированным проводом, должно составлять 50 Ом.

В заключение следует отметить, что подобные конструктивные решения могут быть выполнены и применительно к другим диапазонам частот. При этом достаточно соответствующим образом скорректировать размеры. Что касается установки антенны в проеме окна или на стене, то здесь также возможны различные решения. Например, можно изготовить специальную раму, на которой разместить антенну. Достаточно раму закрепить на мачте и получится обычное антенно-мачтовое устройство.

АНТЕННЫ С ПЛОСКИМ РЕФЛЕКТОРОМ

Основой антенны с плоским рефлектором является диапазонная направленная антенна, установленная на некотором расстоянии от металлической плоскости. Размеры антенны S_E и S_H выбирают исходя из получения требуемого согласования в заданном диапазоне частот; размеры рефлектора выбирают из

компромисса между допустимым уровнем обратного излучения и минимальными размерами рефлектора; размеры ячейки рефлектора выбирают исходя из допустимого уровня обратного излучения (0,3 E_{max}) и минимально возможной парусности антенного устройства.

АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА ТВ ПРОГРАММ ПО 1—5-МУ КАНАЛАМ

Общий вид антенны представлен на рис. 47. Антенна представляет собой объемную конструкцию, состоящую из излучателя и рефлектора. Для обеспечения возможности работы в данном диапазоне частот 48,5—100 МГц необходимы достаточно большие размеры антенного полотна и рефлектора. В какой-то степени это может быть скомпенсировано, если антенное полотно и рефлектор изготавливать из тонких проводников. Свойства рассматриваемой диапазонной антенны таковы, что ее выполнение из тонких проводников не приводит к существенному ухудшению работы в широком диапазоне частот. Что касается рефлектора, то его изготовление из тонких проводников возможно при выполнении двух условий: размеры ячейки достаточно малы, размеры рефлектора не меньше максимальной половины длины волны диапазона. На основе этих предпосылок была разработана конструкция антенны, основу которой составляет рама, размещенная на несущей трубе. Сечение несущей трубы надо выбирать исходя из обеспечения требуемой жесткости и прочности. Чертежи антенны выполнены в расчете на диаметр трубы 55 мм, однако возможно применение и любой другой штанги, обладающей достаточной прочностью. Рама для натяжения полотна антенны изготавливается из диэлектрика, в нашем случае из дерева. Применение для изготовления элементов рамы материалов из металла недопустимо. Исключение составляют элементы крепления брусьев друг с другом. Для сохранения диэлектрических свойств деревянных брусьев целесообразно их пропитывать лаком или смолой. Этим достигается водоотталкивание и предупреждение преждевременного гниения деревянных деталей. Прежде чем начать изготовление антенны, необходимо внимательно изучить чертежи общего вида и входящие в него элементы конструкции, представленные в приложении 5. При необходимости замены тех или иных материалов, деталей, узлов на другие надо оценить: не ухудшаются ли электрические свойства антенны, не исчезнут ли необходимые звенья с точки зрения получения требуемой прочности, будет ли антенна сохранять прочность и электрические параметры при длительной эксплуатации. Например, узел *А* представляет собой потенциальную область, поэтому даже при деревянной стойке целесообразно крепление изгиба троса выполнять через изолятор с целью уменьшения влияния на входное сопротивление излучателя. С другой стороны, узел Б, представляющий собой область нулевого потенциала, может быть закреплен с помощью металлической стойки, а крепление изгиба троса с помощью аналогичной конфигурации металлической пластины. Определенное влияние на работу антенны оказывают проводящие элементы конструкции, особенно лежащие в плоскости *E* антенны. Это связано с тем, что в элементах наводятся токи, искажающие основное поле антенны. В результате

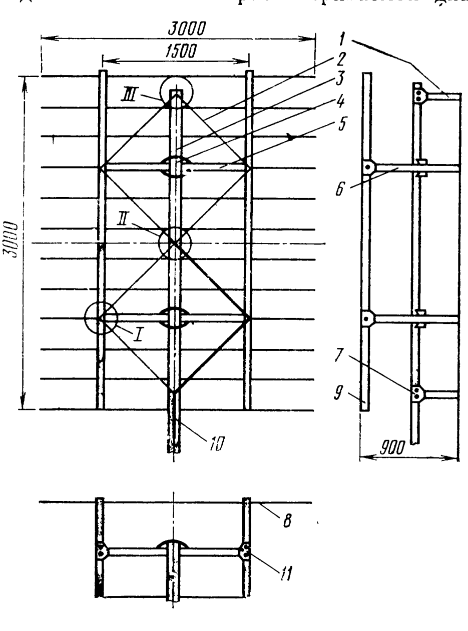


Рис. 47

интерференции полей происходит ухудшение согласования и диаграмм направленности. Если же знать свойства антенны, хотя бы в объеме данной книги, можно существенно расширить поле выбора как в части конструктивных решений, так и в отношении выбора материалов для изготовления антенн.

Несколько слоев о жесткости полотна антенны и полотна рефлектора. С одной стороны, чем жестче конструкция антенного устройства, тем стабильнее ее работа. С другой стороны, сильное натяжение троса или провода вызывает значительные усилия на конструкцию рамы. Это требует увеличения сечения ее элементов, возрастает масса, парусность. Другими словами, все преимущества конструкции из тонких проводников сводятся на нет. Поэтому натяжение троса должно быть таким, чтобы соблюсти выполнение всех факторов, определяющих конструкцию и электрические свойства. Например, колебание троса в пределах нескольких сантиметров весьма мало́ по сравнению с длиной волны (более 6 м) и заметных изменений параметров наблюдаться не будет, но при этом натяжение троса относительно невелико, тем более, что колебание троса возможно только при достаточно сильных порывах ветра.

Антенна для приема программ по 1—5-му каналам представлена на рис. 47. В табл. 13 приведен перечень основных деталей, необходимых для изготовления антенны.

Таблица 13

Номер на рис. 47	Деталь	Чертеж приложения 5	Материал	Количество
1	Брус	Э4	Дерево	2 шт.
2	Трос стальной	—	Ø 1,0	10 м
3	Труба	Э7	Д1Т, Ø 55×4,0	1 шт.
4	Кронштейн	Э1	Сталь, лист 2,0 мм	2 шт.
5	Брус	Э6	Дерево	2 шт.
6	Брус	Э12	Дерево	4 шт.
7	Держатель	Э8	Сталь, лист 2,0 мм	2 шт.
8	Труба	Э13	Д1Т, Ø 8×1,0	12 шт.
9	Брус	Э11	Дерево	2 шт.
10	Кабель	—	РК 75-4-11	По месту
11	Накладка	Э2	Сталь, лист 2,0 мм	16 шт.

Изготовление антенны целесообразно начинать с трубы 3. После тщательной разметки производится сверление отверстий и опиловка.

Наиболее ответственная и трудоемкая в изготовлении деталь — кронштейн *4* (для его изготовления используется листовая сталь). После разметки производятся вырезы и сверления, затем изгиб по пунктирным линиям и окончательная подгонка кронштейна под трубу *3*.

Основное внимание при подгонке должно быть направлено на то, чтобы обеспечить минимальный люфт и перпендикулярность кронштейна относительно трубы *3*.

Не менее ответственными звеньями являются элементы конструкции, изготавливаемые из дерева. Для этих деталей могут быть применены сосна, береза, бук. Выбор древесины осуществляется исходя из минимального количества различного рода неоднородностей (сучки, затесы и т. п.). При окончательной обработке брусьев *1, 5, 6, 9* необходимо следить за тем, чтобы не было на древесине затесов, трещин и т. п. Для обеспечения длительной эксплуатации антенны брусьев *1, 5, 6, 9* должны быть хорошо просмолены либо покрыты лаком, а после этого — какой-либо эмалью. Изготовление остальных деталей антенны ясно из чертежей, приведенных в приложении 5.

Сборку конструкции антенны целесообразно осуществлять в следующей последовательности. К трубе *3* болтами М10 с гайками закрепить кронштейн *4*. Далее к трубе *3* крепятся держатели *7*, а к последним шурупами крепятся бруски *1*. До установки брусков *6* в них готовятся отверстия для пропускания троса *2* в соответствии с чертежом узла *1*. Закрепив шурупами брус *5*

на держатель *7*, можно подсоединять к концам брусьев *5* брусья *6* с помощью накладок *11*. Далее к брусьям *6* накладками *11* крепятся брусья *9*, в которых предварительно просверлены отверстия под трубы *8*. Трубы *8* могут быть изготовлены из труб диаметром 8—10 мм. После сборки основных элементов конструкции следует подтянуть все соединения и убедиться в их прочности. Трос *2* прокладывается в соответствии с общим видом антенны (см. рис. 47) и чертежами узлов *I*, *II*, *III* (приложение 5), тщательно выравнивается и натягивается. Трос фиксируется в основных узлах антенны винтами в соответствии с чертежом узла *III* (приложение 5). Свободные концы троса надо отлудить. На этом механическая сборка антенны заканчивается. Наиболее ответственная операция — подключение кабеля к точкам питания через трансформирующее звено типа приведенного на рис. 17. Длина трансформатора для данного случая составляет $l_{тр}=1000$ мм. Изготовление трансформатора по операциям приведено на рис. 19. Изготовленный трансформатор обматывается лентой ПХВ, после чего равномерно укладывается вдоль токонесущего проводника, как это показано на рис. 17. Кабель распаивается в точке питания и крепится бандажами из ниток через промежутки 100—150 мм. Бандажи после этого покрывают лаком или клеем БФ-4. Для уменьшения механической нагрузки на полотно антенны от действий длинного кабеля его хорошо закрепляют как в месте выхода из области нулевого потенциала, так и к несущей трубе *3*. Необходимо крепление выполнить таким образом, чтобы исключить перетирание кабеля от действия ветра, оледенения и т. п. После закрепления кабеля, герметизации точек подключения его к антенне, конструкция может быть установлена на мачте или на крыше. До этого необходимо убедиться в ее работоспособности, например обычным пробником проверить наличие контактов, подключить к телевизору. Конечно, наиболее предпочтительна проверка с помощью измерительных приборов типа ИПСК или им подобных. Правильно изготовленная антенна практически сразу обеспечивает нормальный прием программы телевидения по 1—5-му каналам.

Уровень согласования антенны с кабелем КБВ$\geqslant$0,4$\div$0,5 может быть получен во всем диапазоне. Коэффициент направленного действия данной антенны лежит в пределах 6—7 дБ по сравнению с полуволновым вибратором. Уровень приема с обратной стороны ослаблен по сравнению с уровнем приема с основного направления не менее чем на 15 дБ.

Антенна имеет относительно небольшую массу и парусность, электрические параметры сохраняются длительное время при воздействии дождя, снега, оледенения и ветра.

АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА ТВ ПРОГРАММ ПО 21—40-МУ КАНАЛАМ

В качестве другой разновидности антенны с плоским рефлектором рассмотрим двухэлементную *Е*-решетку дециметрового диапазона. Частотный диапазон работы лежит в пределах 470—630 МГц. Общий вид антенны представлен на рис. 48. Излучатели *1* в виде диапазонной антенны изготавливаются из трубы диаметром 16 мм. Материал труб — сплав алюминия типа Д1М. Конструкция излучателей рассчитана на пропускание внутри кабелей. Излучатели кабелями *2*, имеющими волновое сопротивление 100—150 Ом, соединены синфазно с помощью тройника (узел *Б*). В эту же точку подключен кабель снижения РК 75-4-11. Для повышения уровня согласования может быть применен трансформатор *3*, изготавливаемый заодно с тройником (узел *Б*). Трансформатор представляет собой коаксиальную металлическую конструкцию. Внутренний стержень удерживается в трубе на диэлектрических шайбах из пенопласта или полистирола. Соотношение наружного диаметра внутреннего проводника и внутреннего диаметра трубы выбирается исходя из получения волнового сопротивления 60—65 Ом. Защиту точек питания излучателей можно осуществить, как это показано на рис. 48 (узел *А*). Изолятор состоит из двух пенопластовых колец, имеющих соответствующие выборки под диаметр труб рамок излучателя. Снаружи кольца армируются двумя круглыми дисками из текстолита или гетинакса. Конструкция изолятора склеивается и сжимается винтами, далее он может быть покрыт лаком или краской. Надо помнить, что покрытие нитрокрасками и нитролаками недопустимо, так как эти красители

сильно взаимодействуют с пенопластом. Основные размеры антенны приведены на рис. 48. Коэффициент усиления антенны 11—12 дБ, коэффициент бегущей волны КБВ$\geqslant$(0,55÷0,6). Заметим, что при применении распределительных кабелей *2* с волновым сопротивлением $W=75$ Ом волновое сопротивление трансформатора *3* должно выбираться в пределах 50—55 Ом (при этом надо увеличить диаметр внутреннего стержня), согласование в данном случае несколько

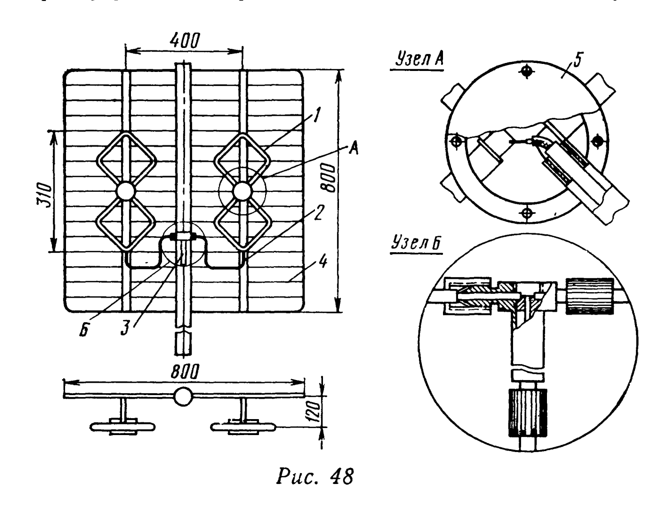


Рис. 48

ухудшится. Однако это оправдано применением кабеля типа РК 75-4-11 вместо специальных (РК 100-4-31, РК 150-7-11). Характерной особенностью данной конструкции являются низкие уровни побочного и обратного излучений, а также неизменность параметров при значительном оледенении.

На основе изготовленных таким образом антенн могут быть построены более сложные антенные решетки. Например, установка этих антенн одна над другой позволит увеличить коэффициент усиления на 2—3 дБ.

АНТЕННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРИЕМА ТВ ПРОГРАММ ПО 6—12-МУ КАНАЛАМ

Предлагаемое антенное устройство рассчитано на работу в диапазоне 174—230 МГц. Антенна состоит из излучателя и рефлектора. В антенне применен криволинейный рефлектор. В *E*-плоскости он линейный, а в *H*-плоскости изогнут с целью уменьшения уровня обратного излучения (уровня приема с обратной стороны). Плоскость рефлектора заполнена линейными проводниками. В качестве излучателя применена диапазонная антенна с вынесенными за ее плоскость точками питания. Вынос точек питания осуществляется симметричной двухпроводной линией, выполненной из полосок. Двухпроводная линия одновременно является трансформирующим звеном. Большинство деталей антенны изготавливаются из дюралюминиевого уголкового профиля. Общий вид антенны представлен на рис. 49.

Рефлектор *3* в виде С-образной рамы охватывает в *H*-плоскости излучатель таким образом, что концы рефлектора одновременно являются стойками для его установки. Основу рефлектора составляют две изогнутые детали из уголка, представленные на чертеже С1 в приложении 6 и изготавливаемые из уголка типа 25×25×2, материал Д1М. Две рамы скрепляются друг с другом держателями *2* (чертеж С4 приложения 6), являющимися одновременно элементами крепления антенны к мачте. К собранной таким образом раме *3* крепятся уголковые рейки *1* и *9* в соответствии с рис. 49.

Излучатель (собственно диапазонная антенна) состоит из двух полотен *4*, изготавливаемых в соответствии с чертежом С2 приложения 6. Эти полотна

изготавливаются из дюралюминиевого уголка 25×25×2, материал Д1М. Полотна *4*, будучи скрепленными уголком *8*, стойками *7* и планкой *5*, образуют полотно излучателя. Полотно антенны крепится уголками *8* с помощью винтов или заклепок к раме рефлектора *3*. Подключение кабеля производится в вынесенные точки питания антенны. Кабель распаивается в точках питания, укладывается вдоль одной из стоек *7* и по внутренней поверхности одного из полотен выводится в область нулевого потенциала, где механически крепится винтом с помощью скобы.

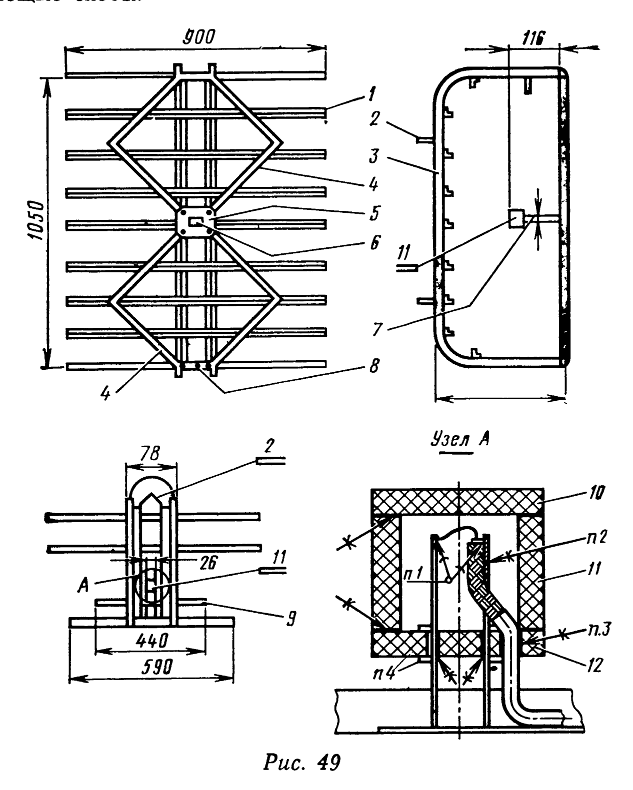


Рис. 49

В табл. 14 приведены основные узлы и детали, где обозначены номер чертежа, материал, количество

Изготовление антенны целесообразнее начинать с рефлектора, и в частности с рамы *3*, так как с механической точки зрения это основной узел антенны, определяющий жесткость и прочность антенны в целом. Наиболее трудоемкая операция — изгиб рамы в соответствии с чертежом С1. Для изгиба надо две заготовки из уголка скрепить друг с другом таким образом, чтобы образовалось Т-образное сечение. При этом изгиб производится существенно проще и обе половины рамы могут быть получены с достаточной степенью точности идентичными друг другу. Далее производится разметка, сверление и опиловка. Эти операции производятся в соответствии с чертежом С1. Изготовление реек не представляет особых сложностей. Рейки могут быть изготовлены как из стандартного профиля, так и самодельного. Здесь важны только длины.

Другим ответственным элементом является излучатель и составляющие его детали. Для получения излучателя надо изготовить два полотна в соответствии с чертежом С2. С этой целью стандартный уголок надо тщательно разметить и выполнить необходимые слесарные операции. С особой осторожностью надо

Таблица 14

Номер на рис. 49	Деталь, узел	Чертеж приложения 6	Материал	Количество, шт
1	Рейка	С8	Д16Т, лист 1,0	9
2	Держатель	С4	Сталь 3, лист 5,0	2
3	Рама	С1	Уголок Д1М 25×25×2	2
4	Полотно	С2	Уголок Д1М 25×25×2	2
5	Изолятор	С10	Гетинакс, лист 4,0	1
6	Планка	С9	Д16Т, лист 1,5	1
7	Стойка	С5	Сталь 3, лист 1,0	2
8	Уголок	С6	Д16Т, лист 1,5	2
9	Рейка	С8а	Д16Т, лист 1,0	2
10	Крышка	С12	Пенопласт	1
11	Коробка	С11	Пенопласт	1
12	Основание	С3	Пенопласт	1

подходить к изгибам уголка, чтобы избежать его поломки и трещин. Следует заметить что сверлить отверстия в центре полотен надо после получения требуемой конфигурации полотна в соответствии с чертежом С2. Целесообразнее всего эту операцию выполнять после изготовления стоек *7* в соответствии с чертежом С5. Остальные узлы и детали трудностей не вызывают, и процесс их изготовления понятен из соответствующих чертежей в приложении 6. В целом по изготовлению конструкции антенны следует заметить, что рекомендуемые материалы и элементы конструкции допускают те или иные отклонения, так как здесь приведено описание отработанной в изготовлении конструкции антенны. Практически же возможна замена материалов, элементов конструкции, однако подходить к этому надо сознательно, внимательно изучив принцип действия антенны. Правильно изготовленная конструкция антенны еще не обеспечивает получение электрических параметров, так как это в значительной степени определяется правильным подключением кабеля. Подключение кабеля должно производиться после окончательной механической сборки антенны.

Узел подключения кабеля к антенне на рис. 49 вынесен отдельно. Он состоит из стоек *7*, коробки *11*, крышки *10* и основания *12*. Узел собирается следующим образом. На стойки *7* надевается основание *12*, после чего производится его фиксация с помощью лепестков на стойках *7*. Далее выбирается кабель требуемой длины. Конец кабеля типа РК 75-4-11 освобождается от внешней изоляции на длине 30—40 мм, на длине 5—7 мм снимается внутренняя изоляция. При надрезании изоляции необходимо следить, чтобы внутренний проводник кабеля не был надрезан, так как он даже при малейшем надрезании может обломиться. Впоследствии это может привести к выходу из строя антенны. После снятия изоляции с внутреннего проводника внешняя оплетка натягивается и скручивается на конце таким образом, чтобы конец кабеля легко мог проходить в отверстие в основании изолятора *12* и в отверстие в пластине *7*. Кабель укладывается, как показано на рис. 49, и плотно увязывается бандажом из ниток к стойке *7*. Далее оплетка кабеля на длине 10—15 мм расчесывается и скручивается таким образом, чтобы была возможна ее пайка к стойке *7*. Кабель распаивается припоем ПОС-61 к обоим стойкам в соответствии с рис. 49.

Длительная работа антенны на открытом воздухе возможна при соответствующей герметизации узла подключения кабеля. С этой целью в основании *12* необходимо надежно проклеить места ввода кабеля и стоек. Это может быть выполнено с помощью клея БФ-4 или эпоксидного. Крышка *10* также приклеивается к коробке *11*. Кабель должен быть надежно закреплен вдоль рамки антенны и далее закреплен каким-либо бандажом к мачте. Так как антенное устройство поднимают на высоту, несколько превосходящую уровень крыш, то необходимо ее тщательно заземлить. С этой целью в области рефлектора или нулевого потенциала надо надежно закрепить провод заземления и проложить его на мачте до земли. Вопросы заземления провода кратко рас-

смотрены ниже. При правильном изготовлении антенны коэффициент усиления по диапазону изменяется в пределах 6—6,5 дБ; уровень обратного излучения антенны в каждом канале не более 0,2 E_{max}, коэффициент бегущей волны антенны не менее 0,7. Длина кабеля определяется местом установки антенны, но больше 20 м длину брать нецелесообразно, так как потери в кабеле становятся уже значительными. Антенна имеет однонаправленные характеристики с шириной диаграмм направленности в E-плоскости $\theta_E=60\div70°$. Уровень паразитной поляризации антенны ниже основной не менее чем на 25 дБ.

Конструкция описанной антенны позволяет реализовать решетки с целью повышения коэффициента усиления. Например, при установке антенны одна над другой на расстоянии между центрами антенны 1300 мм коэффициент усиления антенны составит порядка 9 дБ по сравнению с полуволновым вибратором. При реализации E-решетки увеличение усиления антенны примерно то же. Конструктивно это может быть выполнено путем размещения описанных антенн в горизонтальной плоскости на расстоянии 1300 мм. Для этого надо изготовить специальную раму, на которую закрепляются антенны, а рама крепится к мачте.

АНТЕННЫ С РАМОЧНЫМ РЕФЛЕКТОРОМ

Другой разновидностью рефлектора является рамочная конструкция. Если плоский рефлектор выполняется в виде сеток или сплошных металлических поверхностей, имеющих размер в E- и H-плоскостях не менее половины длины волны, то гораздо менее металлоемкой является конструкция рамочного рефлектора с импедансной перемычкой в E-плоскости. Как было показано выше, разновидностей импедансных перемычек может быть много, общим остается одно — возбуждение с их помощью диагонали рамки, что эквивалентно установке около антенны активных излучателей. Характерной особенностью рамочного рефлектора является достаточно хорошая диапазонность. Диапазон работы, способность оказывать рефлектирующее действие при обратном излучении до 0,12 E_{max}, составляет 2—2,3. При этом реакция на собственное сопротивление минимальна и такова, что оказывается возможным согласование антенны в диапазоне с перекрытием по частоте около $K_f=2$. Размеры рамочного рефлектора в E-плоскости (0,5—0,6)λ_{max}, а в H-плоскости (0,4—0,45)λ_{max}; расстояние от плоскости антенны до плоскости рамки составляет всего 0,14λ_{max}.

Следует отметить, что конструктивно рефлектор все-таки сложен. Его применение оправдано при необходимости получения диапазонных свойств в сочетании с диапазонной антенной. Ниже приводится несколько вариантов конструкций на основе рамочных рефлекторов.

АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРОГРАММ ПО 1—5-МУ КАНАЛАМ

Антенна состоит из диапазонной направленной антенны и рефлектора с перемычкой в виде раздвоенной петли. Антенна и рефлектор применены в тросовом исполнении.

Общий вид антенны представлен на рис. 50. В качестве токонесущих проводников применен стальной оцинкованный трос диаметром 1 мм, с помощью которого создается напряжение в каркасной конструкции. В такой конструкции влияние ветра минимально. Образование оледенения и инея на проводах антенны в значительных количествах маловероятно, так как поверхность антенны весьма мала, а весьма тонкие проводники под действием ветра совершают колебания. При образовании отложений льда изменение электрических параметров антенны оказывается незначительным в силу ее диапазонных свойств

Механическую основу антенного устройства составляет прочный объемный каркас, изображенный на рис. 50. Он состоит из несущих труб *3*, соединяемых между собой сухарями *6*. Сухарь 6 представляет собой деталь для соединения двух труб диаметром 38 мм перпендикулярно друг другу. От того, как выполнена эта деталь, зависит прочность антенного устройства в целом. Желательно, чтобы люфты при сопряжении с трубами были возможно меньше. В об-

ласти крепления мачты, трубы *5* и *3* дополнительно обхватываются накладками *7*, в которых надо предусмотреть винт под провод заземления.

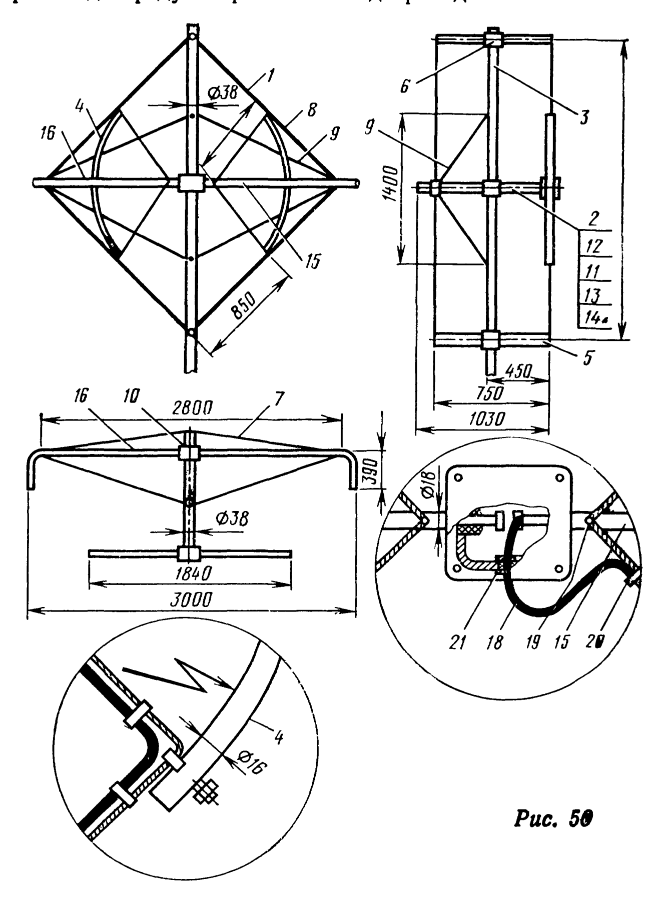


Рис. 50

Одним из основных узлов объемного каркаса является держатель *2*, представленный на рис. 51. Держатель состоит из трубы диаметром 38×1,5, на которую надет сухарь *6*, кронштейна *12*, узла подключения кабеля *11*, стержней *17*, согласующей линии *13*, крестовины *10*. Стержни *17* соединены с узлом *11* через стеклотекстолитовые изоляторы. Емкость между стержнями *17* и корпусом *11* должна быть минимальной. Стержни *17*, будучи механически закрепленными в корпусе *11*, с внутренней стороны имеют резьбу с гайками. С помощью гаек закрепляются уголковые луженые пластины, к которым припаяна согласующая линия *13*. Держатель *2* с обеих сторон должен быть защищен от попадания воды, пыли и т. п. Согласующая линия *13* представляет собой двухпроводную сим-

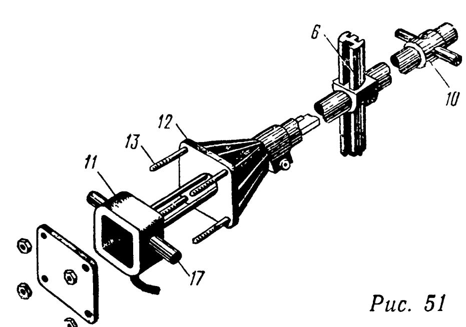


Рис. 51

метричную линию, выполненную из латунной трубы диаметром 7 мм и толщиной стенки 0,5 мм. Длина линии 450 мм. Согласующая линия крепится в узле питания к стержням *17*, вставлена внутрь трубы и поддерживается изоляторами из пенопласта. Подключение кабеля к узлу питания осуществляется следующим образом В одной из стенок корпуса узла питания *11* (рис. 51) сверлится отверстие в расчете на ввод в него через резиновую герметизирующую втулку *21* кабеля РК 75-4-11 *18*. С кабеля на длине 500 мм снимается внешняя изоляция. Далее кабель вводится в одну из труб согласующей линии до упора внешней изоляции в трубу согласующей линии, на конце кабеля оплетка расчесывается и припаивается к трубе в месте выхода кабеля. Внутренняя жила освобождается от изоляции и припаивается к другой трубе.

Крестовина *10* представляет собой кольцо с толщиной стенки порядка 10 мм, в которое диаметрально противоположно ввинчиваются два стержня. Диаметр стержней должен быть рассчитан под внутренний диаметр вибратора *16*. Длина стержней 70—100 мм. Крестовина должна свободно надеваться на трубу держателя и фиксироваться от перемещения винтом *19*. Вибратор *16* может быть изготовлен из дюралевой трубы диаметром 16 мм. Основные размеры вибратора приведены на рис. 50. В соответствии с общим видом антенны на рис. 50 в трубах *5*, *3* и стержнях *17*, *15* должны быть предусмотрены отверстия под фиксирующие винты, представленные в приложении 7 (К2). Фиксирующие винты предварительно нанизываются на тросы антенны, петли и рамки. Рассчитываются требуемые длины тросов, и их концы соединяются с помощью, например, медной трубки, которая при окончательном выборе длины троса расплющивается. Трос антенны *1* растягивается на каркасе следующим образом. Два длинных фиксирующих винта (длина порядка 60 мм) вставляются в отверстия на концах труб *5* и предварительно закрепляются в них с помощью гаек. В образовавшихся половинах троса должно быть нанизано по три фиксирующих винта длиной порядка 30 мм. Средние винты с тросом вставляются в отверстия, просверленные заодно в стержнях *15* и *17*. Координаты отверстия даны в приложении 7 (К4). Оставшиеся по два фиксирующих винта на каждой половине антенны вставляются в отверстия упругих дуг *4* (приложение 7, К3) и предварительно крепятся гайками. Далее упругие дуги *4* равномерно натягиваются в разные стороны и фиксируются в выточках стержней *15*. После этого производится предварительная регулировка натяжения и симметрии антенны. Аналогично крепится трос рамки *9*. На рамке *9* должно быть нанизано четыре фиксирующих винта, из них два длиной 60 мм и два длиной 30 мм. Длинные винты закрепляются в трубы *5*, а короткие в отверстия вибратора *16*. Трос петли содержит четыре винта, два из них по 60 мм и два по 30 мм. Крепление больших винтов производится к трубам *3*, а малых к концам вибратора. До окончательного натяжения также производится предварительная регулировка с целью обеспечения требуемой геометрии тросовых проводников. Трос оттяжки *7* на концах имеет по одному малому фиксирующему винту. Его длина выбирается исходя из получения требуемого натяжения троса рамки *9*.

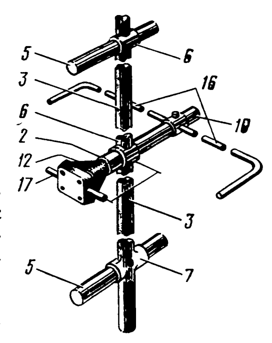


Рис. 52

Для окончательного оформления конструкции антенны следует установить упругие дуги *4* на стержни *15*, произвести окончательную регулировку и затянуть гайки на фиксирующих винтах; далее натянуть трос оттяжки *7* и произвести фиксацию винтов гайками. Кабель снижения укладывается вдоль проводника антенны — выводится через точку нулевого потенциала и крепится хомутом к мачте. До установки антенны надо к ней присоединить провод заземления. Основные узлы и детали антенны приведены в табл. 15. Отметим, что возможны отклонения от рекомендованных материалов и решений, но при этом надо сохранить основную геометрию антенны. В частности, при выполнении указанных рекомендаций масса данной антенны составляет 5,5—6,0 кг при минимальной парусности. О надежности предлагаемой конструкции можно судить по имеющемуся многолетнему опыту эксплуатации в достаточно сложных климатических районах без какого-либо вмешательства.

Таблица 15

Номер на рис. 50	Деталь, узел	Чертеж приложения 7 и рисунок	Размер и материал	Количество, шт.
1	Трос антенны	К1, К2	∅ 1,0 мм	1
2	Держатель	Рис. 50, 51, 52	Сталь 20 ∅ 6	1
3	Труба	Рис 50	Д16Т, ∅ 38×1,5	2
4	Упругая дуга	К3, рис. 50	Д16Т, ∅ 16×1,0	2
5	Сухарь	Рис. 50, 51, 52	Д16, ∅ 40	3
7	Трос оттяжки	Рис. 50, К2	Трос ∅ 1,0	1
8	Трос петли	Рис. 50, К2	Трос ∅ 1,0	2
9	Трос рамки	Рис. 50, К2	Трос ∅ 1,0	1
10	Крестовина	Рис. 51, 52	Д16Т, сталь	1
11	Узел питания	Рис. 50, 51	—	1
12	Кронштейн	Рис 50, 51, 52	Д16Т	1
13	Согласующая линия	Рис. 51	Латунь ∅ 7×0,5	1
14	Крышка	Рис. 51	Д16Т, лист 1,5	1
15	Упорные стержни	К4	Д16Т, ∅ 16×1,5	2

Описанное антенное устройство обеспечивает прием программ телевидения в диапазоне 48,5—100 МГц на расстоянии 70—80 км при трансляции телепрограмм со стандартной опоры высотой 183 м. Характер местности—среднепересеченный. Антенна имеет коэффициент усиления $K=4{,}5\div5$ дБ по сравнению с полуволновым вибратором. Уровень согласования КБВ$\geqslant$0,45. Обратное излучение $E_{обр}/E_{max}\leqslant0{,}45$. Поляризация принимаемых сигналов—горизонтальная.

АНТЕННЫ С РЕФЛЕКТОРОМ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНЫХ ВИБРАТОРОВ

АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА ТВ ПРОГРАММ ПО 1—3-МУ КАНАЛАМ

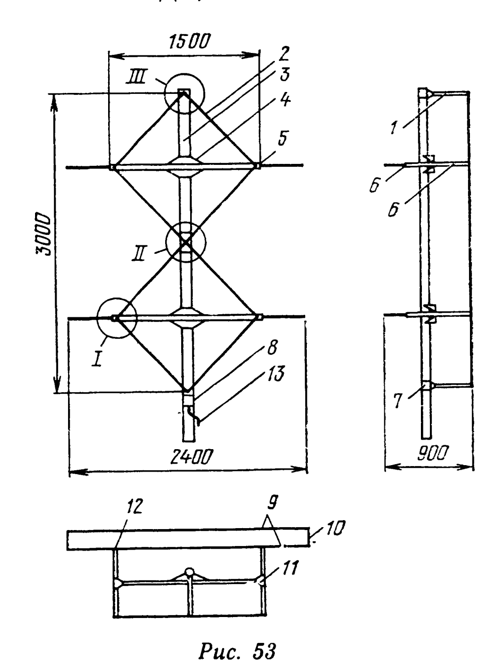


Рис. 53

Антенна представляет собой объемную конструкцию, состоящую из излучателя и рефлектора. Излучатель (собственно антенна) выполняется из тонкого проводника или троса, размещенного на специальной раме.

Рефлектор выполнен из двух петлевых вибраторов. Применение рефлектора в виде двух петлевых вибраторов приводит к некоторому сужению полосы частот с точки зрения увеличения уровня приема сзади. В частности, уровень приема с обратной стороны не превосходит 0,35—0,4 от максимального. Если допустить увеличение уровня обратного излучения, то описываемое антенное устройство может работать в полосе частот, соответствующей телевизионным каналам с 1-го по 5-й.

Основу конструкции антенны составляет несущая штанга в виде трубы *3*, представленная на рис. 53 и в приложении 5 (Э7).

Сечение мачты должно обеспечивать прочность антенны и ее узла закрепления к мачте.

Антенна состоит из деталей, чертежи которых представлены в приложении 5. Перечень входящих основных деталей приведен на рис. 53 и в табл. 16.

Таблица 16

Номер на рис. 55	Деталь	Чертеж приложения 5	Материал	Количество
1	Брус	Э4	Дерево	2 шт.
2	Трос	—	Сталь Ø 1,0	10 мм (длина)
3	Труба	Э7	Д1Т	1 шт.
4	Кронштейн	Э1	Сталь 3	2 шт.
5	Брус	Э6	Дерево	2 шт.
6	Брус	Э3	Дерево	8 шт.
7	Держатель	Э8	Сталь	2 шт.
8	Трансформатор	—	—	1 шт.
9	Трубка	Э5	Д1Т	4 шт.
10	Планка	Э9	Д1Т	4 шт.
11	**Накладка**	Э2	Сталь	8 шт.
12	**Скоба**	Э10	Сталь	4 шт.
13	Кабель	—	РК 75-4-11	—

Описываемый вариант антенны рассчитан на использование симметрирующего трансформатора, который приведен в приложении 1 и описан выше. В приложении 2 показано соединение трансформатора с кабелем и петлей связи. Следует заметить, что подключение антенны — наиболее ответственная операция, от которой зависят электрические параметры антенны. Диаметр провода петли связи следует выбирать в соответствии с приведенными выше рекомен-

Таблица 17

Номер по порядку	Последовательность операций при сборке
1	К трубе *3* болтами М10 с гайками закрепить кронштейн *4*
2	Закрепить к трубе *3* держатель *7* двумя болтами М10 с гайками
3	Закрепить к держателям *7* бруски *1* с помощью шурупов
4	Подготовить отверстия в брусках *6* для пропускания троса *2* в соответствии с чертежом узла *1*
5	Закрепить шурупами на держатель *7* брус *5*
6	Закрепить к концам брусков *5* бруски *6* с помощью накладок *11*
7	Закрепить к брускам *6* трубки *5* скобами *12*
8	Закрепить трубы *9* планками *10*
9	Подтянуть все соединения и убедиться в их прочности
10	Проложить трос *2* в соответствии с общим видом антенны и чертежами узлов *I*, *II*, *III* (приложение 5)
11	Тщательно выровнять трос *2* и добиться требуемого натяжения
12	Зафиксировать трос в основных узлах антенны винтами в соответствии с чертежом узла *III* (приложение 5)
13	Отлудить свободные концы троса
14	Установить провод петли связи
15	Установить трансформатор и кабель
16	Произвести требуемые соединения
17	Произвести герметизацию мест пайки и ввода кабеля
18	Установить антенну, заземлить ее и закрепить кабель вдоль мачты

дациями. Провод петли плотно обматывается вокруг троса, места паек тщательно герметизируются описанными выше способами. Изготовленная по приведенным чертежам антенна обеспечивает однонаправленный удовлетворительный прием программ телевидения по телевизионным каналам с 1-го по 3-й с расстояний 50—60 км. Коэффициент усиления антенны 4—5 дБ по сравнению с полуволновым вибратором. Уровень согласования антенны с кабелем типа РК 75-4-11 может быть получен в пределах КБВ$\geqslant$0,5, уровень приема с обратной стороны ослаблен по сравнению с направлением основного приема до 0,3. Поляризация принимаемых сигналов — горизонтальная, уровень паразитной поляризации ниже основной не менее чем на 25 дБ. Антенну можно устанавливать как на отдельных стоящих мачтах, так и на крышах зданий. Несущая труба 3 должна быть тщательно заземлена.

АНТЕННЫ С РЕФЛЕКТОРОМ И ДИРЕКТОРАМИ

Увеличение эффективности антенных устройств путем образования из отдельных простых антенн $E\times H$-решеток, во-первых, не всегда возможно, а во-вторых, при этом получаются достаточно сложные системы питания. Поэтому в радиолюбительской практике, думается, трудно создать антенные решетки с числом элементов больше двух — четырех. В этой связи весьма заманчиво создание решеток на основе элементов, обладающих относительно высокими направленными свойствами и имеющих приемлемые входные характеристики в требуемой полосе частот. Такой способ повышения эффективности антенн выше рассматривался. Суть его состоит в возбуждении диапазонной антенной систем из ряда директоров. Особенностью этого способа является небольшая диапазонность. Видимо, повышение эффективности за счет директорных систем имеет смысл в узкой полосе частот, поэтому использование фокусировки в каналах с 1-го по 5-й привело бы к увеличению эффективности лишь в какой-то части диапазона. Кроме того, при этом размеры антенного устройства весьма велики по всем измерениям.

С другой стороны, применение директорных структур в антеннах для приема программ по 6—12-му и 21—40-му каналам весьма перспективно, так как относительная полоса частот работы директорных структур становится соизмеримой с полосой частот, соответствующей каналам с 6-го по 12-й и с 21-го по 40-й.

Ниже предлагаются конструкции антенн для указанных диапазонов частот.

АНТЕННА ДЛЯ ПРИЕМА ТВ ПРОГРАММ ПО 21—40-МУ КАНАЛАМ

Общий вид излучателя представлен на рис. 54, 55. Он выполнен сварным из трубы диаметром 12 мм и состоит из диапазонной антенны *1* с размерами $S_H=320$ мм, $S_E=270$ мм. Излучатель стойками *2* связан с рамкой *3*, выполненной из трубы диаметром 8 мм. Диагональ рамки *3* перемкнута петлей *4*, выполненной также из трубы диаметром 8 мм. Кабель вводится через точку нулевого потенциала. Диаметр трубы излучателя позволяет проложить кабель внутри. На рис. 54 штрихпунктиром показана прокладка кабеля внутри излучателя.

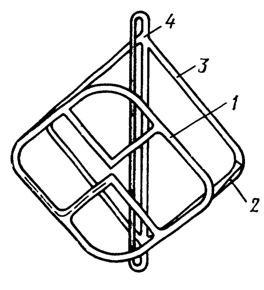


Рис. 54

Описываемая антенна состоит из двух однонаправленных излучателей и директорных структур, установленных вдоль фокальной оси антенны. Общий вид антенны представлен на рис. 55. Однонаправленные излучатели размещаются на штанге *5*, которая в центре имеет приспособление *6* в виде стакана. С помощью этого стакана антенна крепится к мачте *7*. На стакане *6* установлен тройник *8*, к которому подключаются распределительные кабели и кабель снижения. В центре однонаправленных излучателей находится изолятор, который защищает точки подключения кабеля от воздействия внешней

среды, а также является промежуточным звеном при креплении стрел с директором к излучателю. Основные размеры излучателей, расстояние между ними, длина директоров и их расположение приведены на рис. 55. Диаметр труб директоров может быть выбран в пределах 8—10 мм. С конструктивной точки зрения антенну целесообразно выполнять сварной.

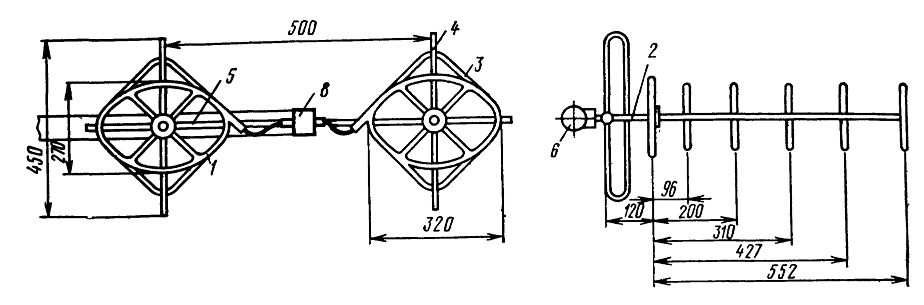


Рис. 55

Длины ветвей распределительных кабелей *9* подбираются исходя из получения требуемого согласования. При выборе ветвей *9* с волновым сопротивлением $W = 100 \div 150$ Ом их длины могут быть произвольными, важно только выполнить условие их равенства друг другу. В частности, при $W = 100$ Ом и соблюдении рекомендуемых размеров, КБВ на входе кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом составляет 0,55—0,6 в каждом канале дециметрового диапазона. Коэффициент усиления антенны изменяется в пределах 12 — 13,5 дБ. Уровень побочного излучения антенны характеризуется следующими цифрами: первый боковой лепесток диаграммы направленности не более $0{,}2\,E_{max}$, второй — не более $0{,}08\,E_{max}$, обратное излучение — не более $0{,}07\,E_{max}$.

АНТЕННА С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ РЕФЛЕКТОРОМ И ДИРЕКТОРАМИ

Выше были приведены чертежи антенного устройства, рассчитанного на работу с 6-го по 12-й каналы. В антенне был применен криволинейный рефлектор, и конструктивно она была выполнена преимущественно из уголкового профиля. Дальнейшее увеличение эффективности возможно путем установки в раскрыве антенны директорных структур. Данный вариант рассчитан на установку двух директорных структур.

Как известно, в областях нулевого потенциала рассматриваемой антенны имеет место пучность тока. Это позволяет рассматривать данные области как своего рода вибраторы, а следовательно, устанавливать около них вибраторы, способные фокусировать электромагнитную энергию. Другим преимуществом является наличие двух таких областей, разнесенных в *H*-плоскости на расстояние S_H, что позволяет получить дополнительный эффект сужения диаграммы направленности в этой плоскости.

Что касается влияния на входное сопротивление антенны, то оно оказывается, во-первых, незначительным, а во-вторых, предпочтительным с точки зрения улучшения диапазонных свойств. Надо отметить, что с целью сохранения конструктивных качеств антенны с рефлектором, число вибраторов большим брать нецелесообразно. Например, для диапазона с 6-го по 12-й каналы число директоров должно быть не более трех-четырех, для диапазона с 21-го по 40-й число директоров может быть увеличено до шести-семи.

Антенну, представленную на рис. 49, можно конструктивно изменить для повышения эффективности двумя путями. Можно размер 370 мм на чертеже С1 приложения 6 увеличить до 1320 мм, т. е. изменить раму, либо к уже описанной конструкции рис. 49 применить две направляющие с директорами. В соответствии со вторым решением ниже (в табл. 18) приведены дополнительные детали к табл. 14 с целью получения данной конструкции.

Таблица 18

Номер на рис. 54	Деталь	Чертеж приложения 6 рисунок	Материал	Количество
1	Вибратор	С13, рис. 49	Д16Т, лист	2 шт.
2	Стойка	С14, рис. 49	Д16Т, лист Д1М	4 шт.
3	Вибратор	С15, рис. 49	Д16Т, лист 1	6 шт.

Коэффициент усиления в данном случае может достичь 9—9,5 дБ по сравнению с полуволновым вибратором, уровень обратного излучения существенно уменьшается, а уровень коэффициента бегущей волны остается не ниже 0,6. Аналогично антенне в обычном исполнении здесь также возможно образование E- и H-решеток с целью дальнейшего повышения коэффициента усиления. Например, в двухэлементной решетке из таких антенн можно достигнуть усиления до 12 дБ. Выбор же E- или H-решетки обусловлен в данном случае конструктивными соображениями.

Описанные антенны для 6-го и 12-го каналов отличаются хорошими прочностными характеристиками и надежностью. При правильной герметизации вводов кабеля возможна длительная работа антенн. Антенны могут выдерживать сильное оледенение без заметного ухудшения электрических характеристик и нарушения конструкции.

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ АНТЕННЫ

Одним из способов увеличения коэффициента усиления антенны является построение многоэлементных решеток. Сужение диаграмм направленности может производиться как в E и H, так и в обеих плоскостях одновременно. Это достигается установкой простых антенн в плоскости E и H либо в обеих плоскостях на расстояниях в пределах $d_{E,H}=(0,5\div 1,0)\lambda$. Антенное устройство при этом существенно усложняется как с точки зрения конструкции в целом, так и в отношении распределительных кабелей, которые должны обеспечить максимальную передачу высокочастотной энергии из элементов решетки в кабель снижения и далее в приемник. Опыт настройки сложных антенн показывает, что лучшие результаты могут быть получены, если имеют дело с элементами решетки, в которых обеспечивается согласование хотя бы с кабелем РК 75-4-11. Это происходит в силу того, что указанные элементы имеют более высокое сопротивление, чем 75 Ом, поэтому последующее сложение сопротивлений является благоприятным для достижения согласования.

Следовательно, в качестве элементов $E\times H$-решеток целесообразно применять рассмотренные выше решения, так как они в какой-то степени гарантируют получение приемлемых характеристик и конструктивно отработаны. Конечно, это не является запретом для применения самостоятельных решений, но при этом потребуется определенный опыт и соответствующая измерительная аппаратура. Повышение эффективности за счет применения синфазных $E\times H$-решеток сопряженно с существенным увеличснием габаритов антенного устройства, в каждом отдельном случае надо подходить к этому вопросу с известной осторожностью. Достаточно сказать, что для эффективного сложения мощности элементов решетки для 1-го телевизионного канала потребуется расстояние между центрами антенн порядка $d_{E,H}=6$ м. А если при этом учесть необходимость установки на мачту подобного сооружения, то становится очевидной сложность вопроса. С другой стороны, расстояние между элементами для получения наибольшего выигрыша в 6-м телевизионном канале составляет всего $d_{E,H}=1,7$ м, что является уже приемлемым. По этим причинам применение многоэлементных антенн целесообразнее в области высоких частот телевизионного диапазона, применение же в области низких частот должно быть четко обосновано условиями приема и возможностью технической реализации.

Ниже предлагаются несколько конструкций многоэлементных решеток для различных частотных диапазонов.

АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ С ПЛОСКИМ РЕФЛЕКТОРОМ

В антенных решетках рефлектор может быть как общим для всех элементов, так и индивидуальным При этом элементы могут объединяться в группы с общим рефлектором. Выбор рефлектора определяется из конструктивных соображений. На основе предложенных выше решений приведено несколько вариантов конструкций многопрограммных антенн, указаны основные размеры. Размеры антенны даны в виде таблиц применительно ко всем телевизионным каналам. На рис. 56 представлен вариант двухэлементной E-решетки. Подробно этот вариант приведен на рис. 48 для работы с 21-го по 40-й каналы.

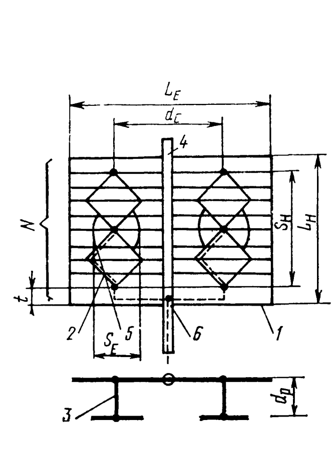


Рис. 56

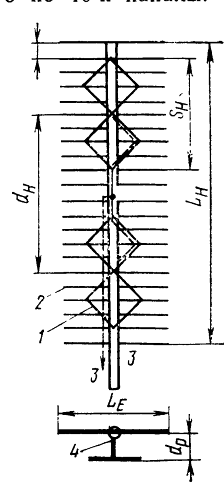


Рис. 57

В табл. 19 даны основные размеры, позволяющие реализовать двухэлементную E-решетку в расчете на толщину провода излучателя $d_n=0{,}015\lambda_{max}$ Вычисление основных размеров может быть выполнено исходя из следующих соотношений: $S_H=(0{,}4\div0{,}6)\lambda_{max}$; $t=0{,}1S_H$, $L_E\approx d_E+0{,}7S_H$; $d_E=(0{,}15\div\div0{,}2)\lambda_{max}$; $L_H=1{,}2S_H$.

Таблица 19

Номер канала	Основные размеры, мм							
1—5-й	3200	1100	5200	3800	3000	14	1900	300
6—12-й	1100	350	1900	1300	1200	14	660	100
21—40-й	332	130	680	420	450	15	270	30

Выбор размера зависит от того, в каком диапазоне работает антенна Минимальные размеры антенного устройства требуют меньшего S_H, однако в этом случае получается меньший коэффициент усиления. Выполняя антенное устройство со значением коэффициента перекрытия по частоте $K_f=2$, необходимо расстояние между элементами антенны выбирать таким, чтобы обеспечить возможно большее усиление в области нижних частот диапазона. Коэффициент усиления этой антенны лежит в пределах 9,0—10 дБ по сравнению с полуволновым излучателем, КБВ может быть реализован не менее 0,6.

С точки зрения получения приемлемых конструкций решеток на основе рассмотренных выше антенн весьма перспективна антенна с криволинейным рефлектором, предложенная для приема телевидения по 6—12-му каналам.

Преимущество использования этой антенны состоит в возможности установки нескольких антенн на одной мачте одна над другой без каких-либо дополнительных элементов конструкции. Таким образом может быть реализована двух-трехэлементная *Н*-решетка (рис. 57). · Что касается *Е*-решетки, то следует изготавливать либо общий рефлектор, либо специальную раму для установки антенн. Естественно, изготовление рамы более предпочтительно, так как отработанная в изготовлении конструкция остается без изменения. Коэффициент усиления двухэлементной решетки может достигать 8—9 дБ, а трехэлементной 9—10 дБ.

С точки зрения получения оптимальной конструкции из этих антенн может быть составлена четырехэлементная решетка, по два элемента в каждой плоскости. Коэффициент усиления такой антенны может быть достигнут 11—12 дБ В связи с тем что согласование антенны с криволинейным рефлектором относительно высокое в диапазоне частот 174—230 МГц, особых трудностей при согласовании решетки не возникает. Достаточно распределительные фидеры применить с волновым сопротивлением $W = 100$ Ом, как удается получить КБВ$\geqslant$0,5 по всему диапазону.

Для дальнейшего повышения коэффициента усиления многопрограммной антенной решетки надо в качестве элементов решетки применить антенну с криволинейным рефлектором и с директорными системами в ее раскрыве. При этом коэффициент усиления может достичь 14—15 дБ. Антенны, рассчитанные на работу в диапазоне с 1-го по 5-й телевизионные каналы, несмотря на их простоту, имеют большие размеры, металлоемкость и парусность, что требует применения громоздких и прочных мачтовых устройств. Поэтому в данном диапазоне следует применять рамочные рефлекторы, выполненные из тонких проводников. Сами излучатели также лучше выполнять из тонких проводников, а их согласование осуществлять ранее описанными способами. При таком построении большие размеры антенны и большие расстояния между ними, как элементами решетки, не приводят к значительному увеличению массы и парусности. Например, однонаправленный элемент решетки, состоящий из диапазонной антенны и рамочного рефлектора с перемычкой в виде петли, выполненной из троса ∅ 1 мм, весит 5,5—6,0 кг (см. рис. 50) и имеет незначительную парусность. Такие антенны и решетки из них могут быть легко установлены на простых деревянных опорах. Коэффициент усиления такой антенны может быть достигнут 7—8 дБ по сравнению с полуволновым вибратором. Одним из условий достижения максимального значения коэффициента усиления является обеспечение уровня согласования хотя бы КБВ$\geqslant$0,5.

Рассмотрим далее конструкцию многоэлементной антенны для приема по 6—12-му каналам с повышенной эффективностью. На рис. 58 представлено антенное устройство повышенной эффективности. Антенное устройство состоит из четырех элементов, по два элемента в *Е*- и *Н*-плоскостях. Каждый элемент представляет собой антенну, состоящую из излучателя *1*, рамочного рефлектора *2* и директорных структур. Основные детали и узлы антенны приведены в табл. 20.

Излучатель *1* изготавливается из листовой латуни толщиной 1,5 мм. Чертеж приведен в приложении 8. Особенность излучателя в том, что он не явля-

Таблица 20

Номер на рис. 58	Деталь, узел	Рисунок, чертеж приложения	Материал	Количество, шт.
1	Излучатель	Рис. 58, Н1	Латунь, лист 1,5	4
2	Рефлектор	Рис. 58, Н4	Д1Т, лист 1,5	4
3	Вибратор	Рис. 58, Н6	Д16Т, лист 1,5—2	20
4	Изолятор	Рис. 58, Н2	Пенопласт	4
5	Основание	Рис. 58, Н3	Пенопласт	4
6	Узел изолятора	Рис. 58, Н3, Н2, Н7	—	4
7	Рама	Рис. 58, Н5	Дерево	1

ется несущей конструкцией и крепится шурупами к раме *7* в области нулевого потенциала. Конфигурация излучателя выбрана в расчете на получение максимальной широкополосности. Наиболее ответственной операцией при сборке излучателя является установка узла изолятора, состоящего из изолятора *4* и основания *5*. Изолятор и основание изготавливаются из плотного пенопласта в соответствии с чертежами Н3 и Н2 приложения 8. Прежде чем переходить

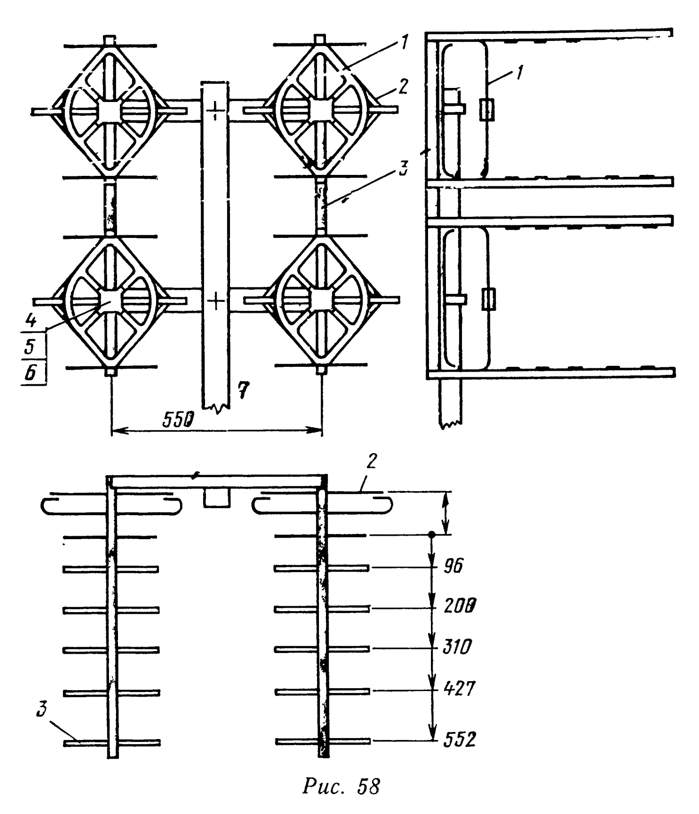


Рис. 58

к сборке, следует уложить кабель (чертеж Н7 приложения 8), обжать кабель скобой и свободные полости залить эпоксидным клеем или каким-либо герметиком с таким расчетом, чтобы в сечении *А—А* (приложение 8, Н7) имел место квадратный профиль на длине порядка 20 мм. Далее тщательно подгоняется изолятор *2* под излучатель. Эту операцию можно выполнить острым ножом. Подгонка основания несколько проще, так как поверхность излучателя с этой стороны гладкая. После тщательной подгонки изолятор и основание в месте соприкосновения друг с другом и излучателем смазываются эпоксидным клеем и сжимаются каким-либо прессом до полной полимеризации смолы. Подобные операции проделываются с каждым излучателем. Важно следить за возможно большей идентичностью излучателей, чтобы не нарушить симметрию антенного устройства. Рефлектор, рамка с петлей, изготавливается из сплава алюминия Д1Т толщиной 1,5 мм, но может быть изготовлен из латуни, при этом несколько возрастет масса антенны. Способ изготовления и его размеры видны из чертежа Н4 приложения 8 и особых разъяснений не требуют. Крепление его рамы аналогично излучателю. Изготовление вибраторов также не требует разъяснений, так как понятно из чертежа Н6 приложения 8.

Особое внимание следует уделить изготовлению рамы Н5, представляющей собой механическую основу антенного устройства в целом. Общий вид рамы

представлен на чертеже Н5. Раму предлагается изготавливать из дерева (березы, сосны, бука). Предварительно подготовленные бруски для рамы должны подвергнуть обработке, описанной в предыдущих разделах. Способы соединения брусков для получения требуемой конфигурации рамы могут быть самыми разнообразными, важно обеспечить прочность рамы для условий длительной эксплуатации. Установку антенного устройства на мачте можно произвести любым из описанных способов. При этом важно обеспечить минимальные колебания антенного устройства при действии ветра по азимуту и углу места, так как диаграмма направленности довольно узкая.

Распределительные кабели желательно иметь типа РК 100-4-31. Система питания антенны представляет собой следующее. Каждый излучатель соединяется с разветвителем на *4* посредством отрезков кабеля типа РК 100-4-31. Длина кабеля выбирается из соображений его укладки на излучателях и раме. Разветвитель на *4* имеет также выход под четвертьволновое трансформирующее звено. Волновое сопротивление трансформатора надо взять $W=50$ Ом, это обеспечит согласование с кабелем снижения РК 75-4-11. Таким образом, схема питания антенны состоит из четырех отрезков кабеля типа РК 100-4-31, подключенных одним концом к излучателям, а другим к разветвителю на четыре; трансформатора из кабеля РК 50-4-11, подключенного одним концом к разветвителю, а другим к кабелю снижения. Применение других типов кабелей вместо РК 100-4-31 РК 75-4-11 потребует волнового сопротивления трансформатора 37,5 Ом. Следовательно, система питания антенны может быть выполнена на основе имеющегося в продаже кабеля РК 75-4-11, однако уровень согласования при этом будет ниже, чем бы это имело место при применении кабеля РК 100-4-31. Способы изготовления разветвителей, трансформатора и сочленений кабелей приведены в предыдущих разделах данной книги.

Конструкция данной антенны позволяет получить следующие параметры: коэффициент усиления 13—14 дБ по сравнению с полуволновым вибратором; коэффициент бегущей волны 0,5—0,7 в зависимости от того, как выполнена система питания и на основе каких кабелей. При выполнении рекомендаций по изготовлению антенны, данных выше, антенное устройство должно выдерживать длительную эксплуатацию при различных климатических воздействиях. Следует заметить, что заземление данной конструкции необходимо осуществлять от разветвителя.

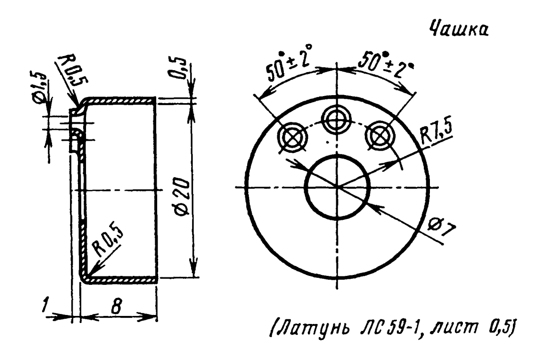
УСТАНОВКА АНТЕННЫ

Прежде чем устанавливать антенну на той или иной опоре, необходимо все возможные операции выполнить на земле. К этим операциям относятся: механическое соединение антенны с мачтой; распайка кабеля в точках питания; установка изолятора и его герметизация; крепление кабеля к полотну антенны в области нулевого потенциала и к опоре; предварительная юстировка антенны; проверка правильности механических и электрических соединений; соединение антенного устройства с проводом заземления; правильный выбор длин кабелей и оттяжек.

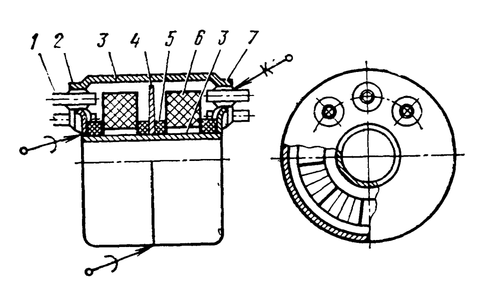
Установку антенны выполняют на крышах домов, а также на отдельно стоящих мачтах. Если в черте города многоэтажные дома позволяют это осуществить довольно просто, то в сельской местности требуется достаточно большая высота подвеса антенны, так как прием ведется при значительном удалении от телецентра. Высоту опоры выбирают обычно, исходя из достижения прямой видимости (при незначительном удалении), либо исходя из получения минимального затенения близлежащими зданиями и сооружениями (например, при приеме из области полутени и далее). В том и другом случаях высота опоры может достичь 10—15 м. Установка на крышах домов не представляет особых трудностей, так как антенна в данном случае крепится на мачте высотой 3—4 м. Необходимо только следить, чтобы крепление оттяжек было надежным, мачта имела надежную опору и антенну не разворачивало по азимуту порывами ветра. Доступ к антенне в данном случае не затруднен, поэтому следует чаще производить ее осмотр и профилактику, что гарантирует длительную нормальную эксплуатацию антенного устройства.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

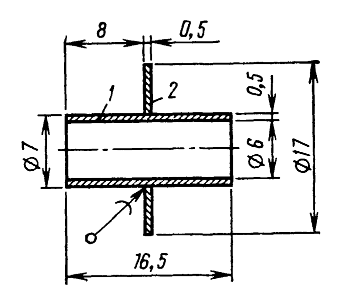
Чашка



(Латунь ЛС 59-1, лист 0,5)

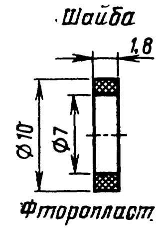


1- вывод, 2-изолятор, 3-чашка, 4-экран, 5-шайба, 6-катушка на сердечнике 1000 НМ К 16×8×4, 7-труба



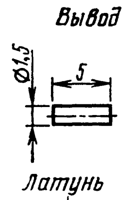
1-трубка (латунь ЛС 59-1 Ø7,0×0,5), 2-экран (латунь ЛС 59-1, лист 0,5)

Шайба



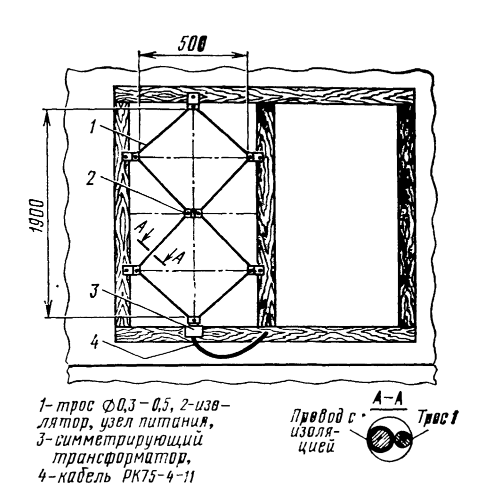
Фторопласт

Вывод



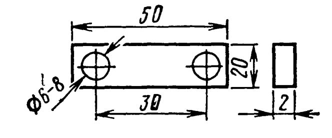
Латунь

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

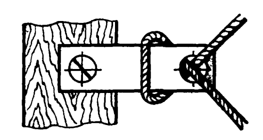


1- трос Ф0,3 – 0,5, 2-изолятор, узел питания, 3-симметрирующий трансформатор, 4-кабель РК75-4-11

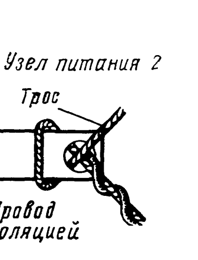




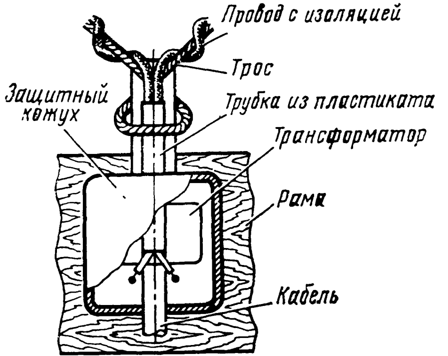
Крепление изолятора к раме

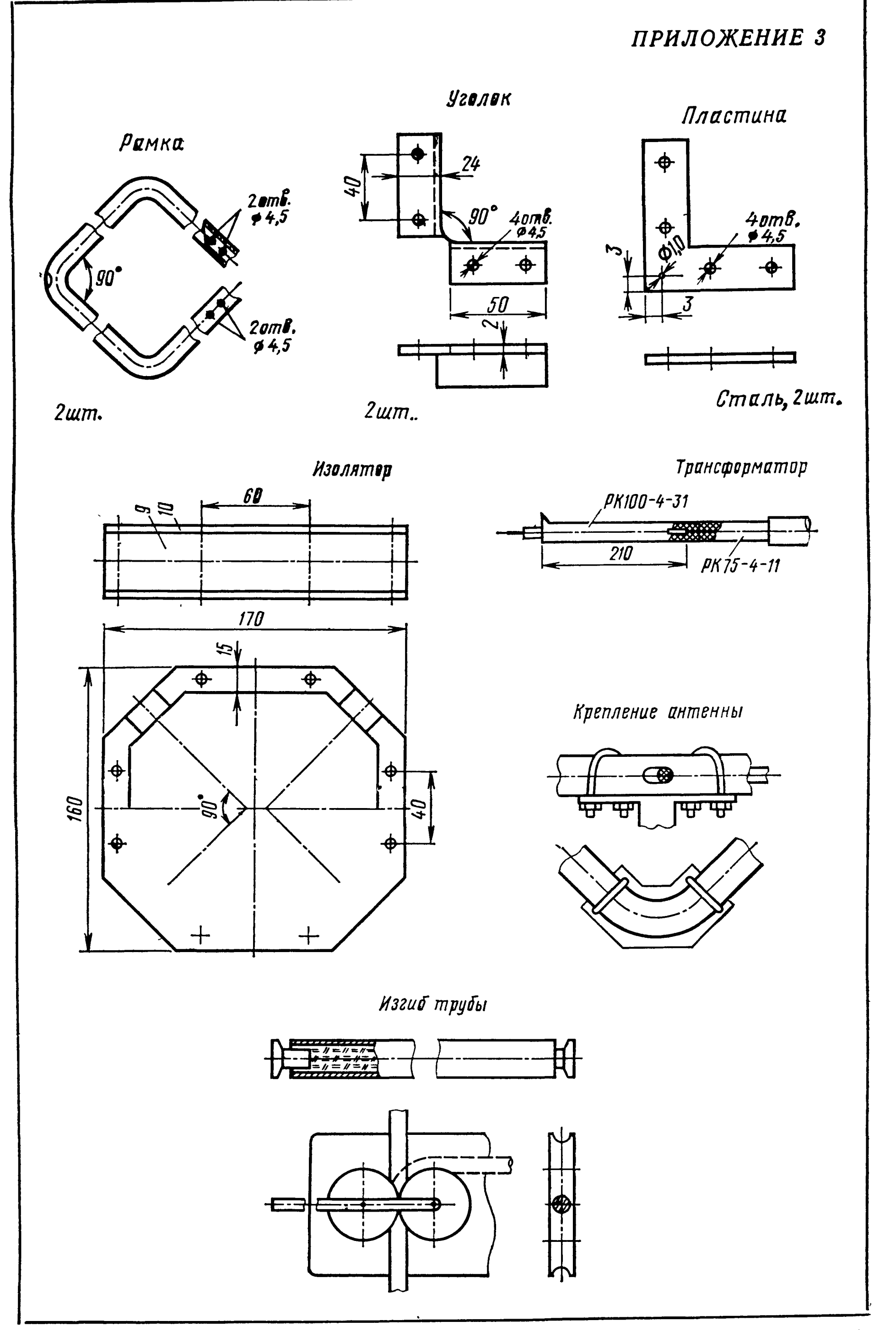


Узел питания 2

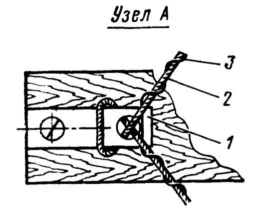


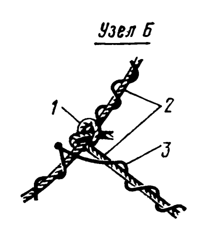
Узел питания 3

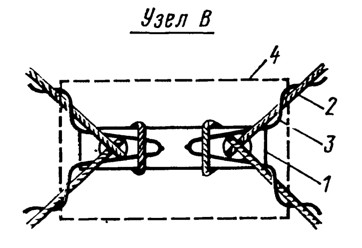


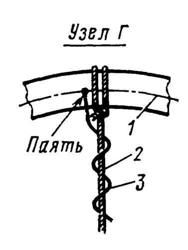

Рамка
2отв. φ4,5
90°
2отв. φ4,5
2шт.
Уголок
40
24
90°
4отв. φ4,5
50
2
2шт..
Пластина
3
Φ10
4отв. φ4,5
3
Сталь, 2шт.
Изолятор
60
9
10
170
15
160
90°
40
Трансформатор
РК100-4-31
210
РК75-4-11
Крепление антенны
Изгиб трубы

ПРИЛОЖЕНИЕ 4



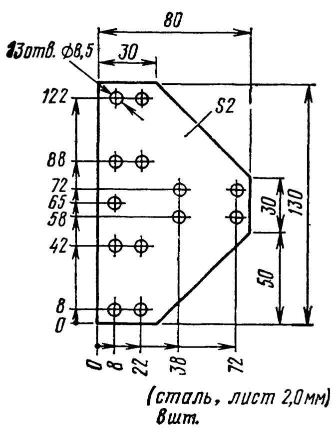




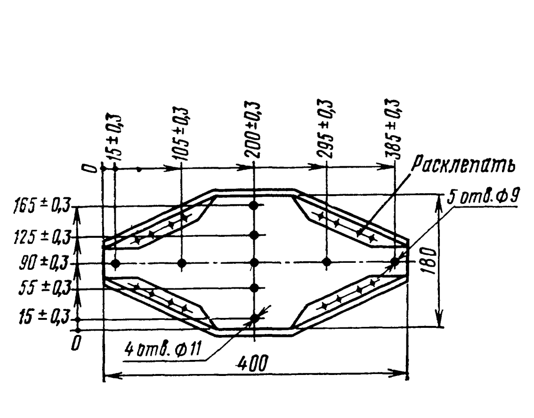


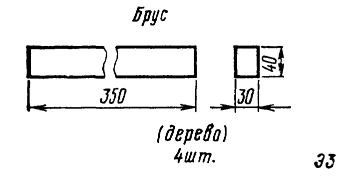
ПРИЛОЖЕНИЕ 5



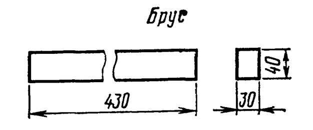


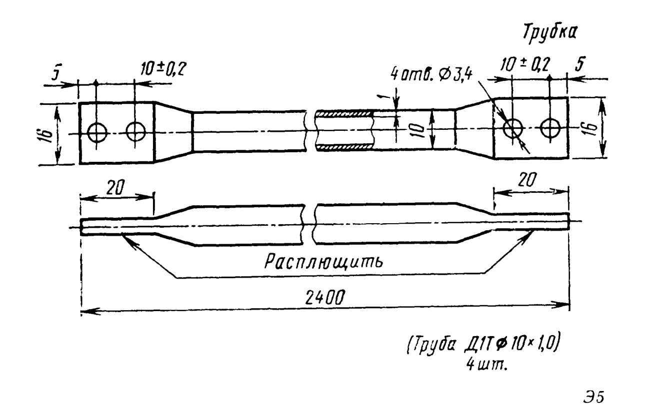
Э2



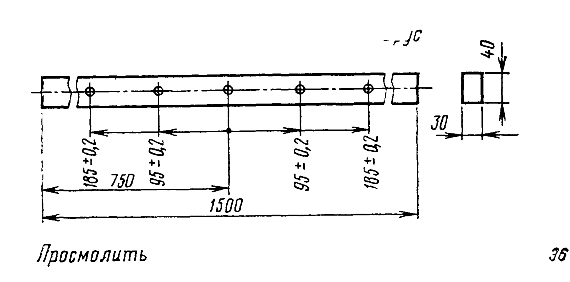


Э3



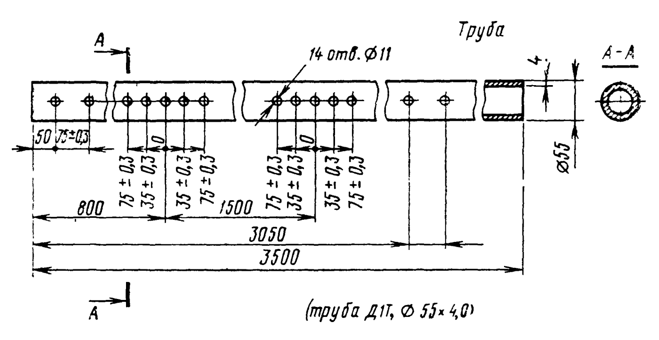


Э5

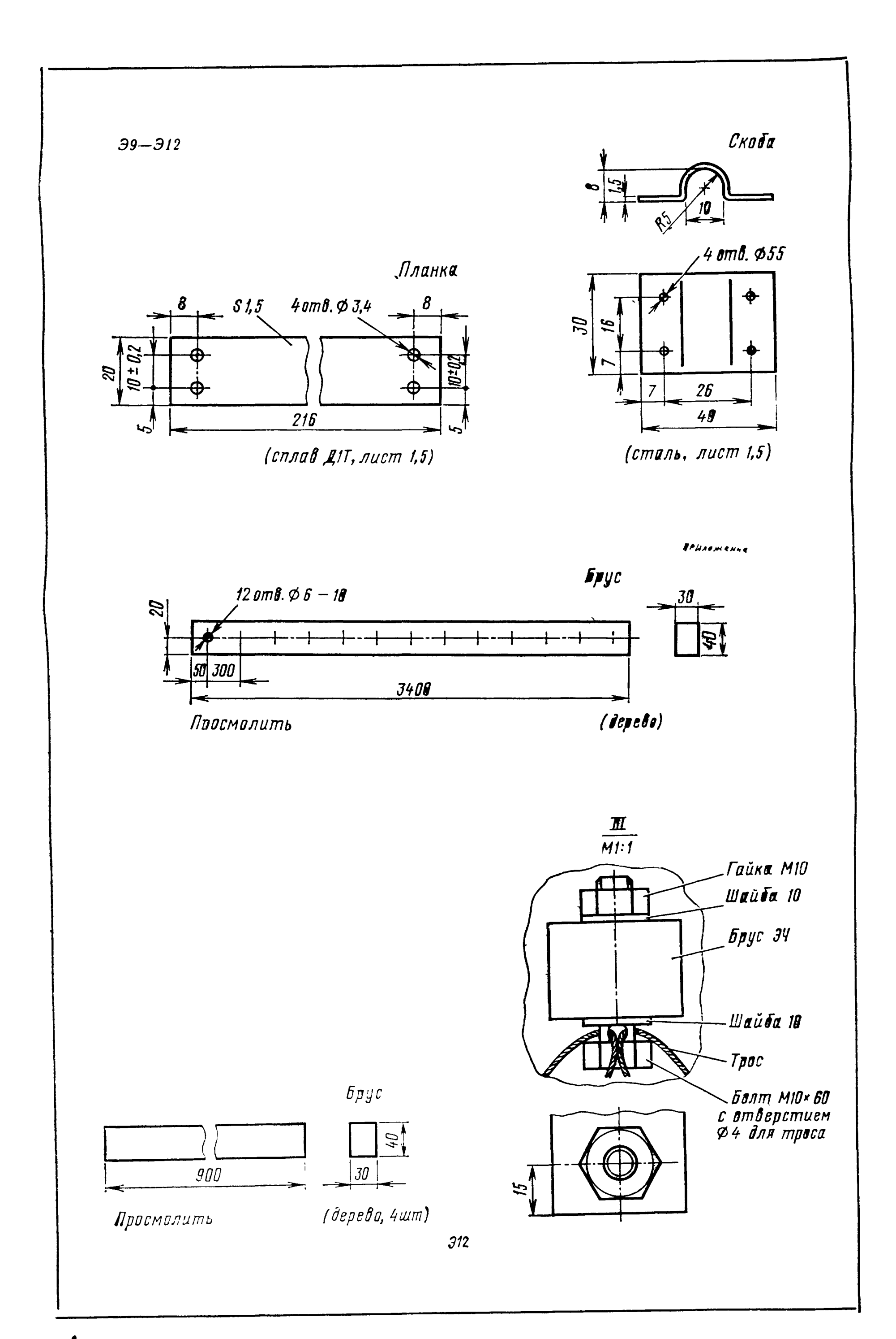


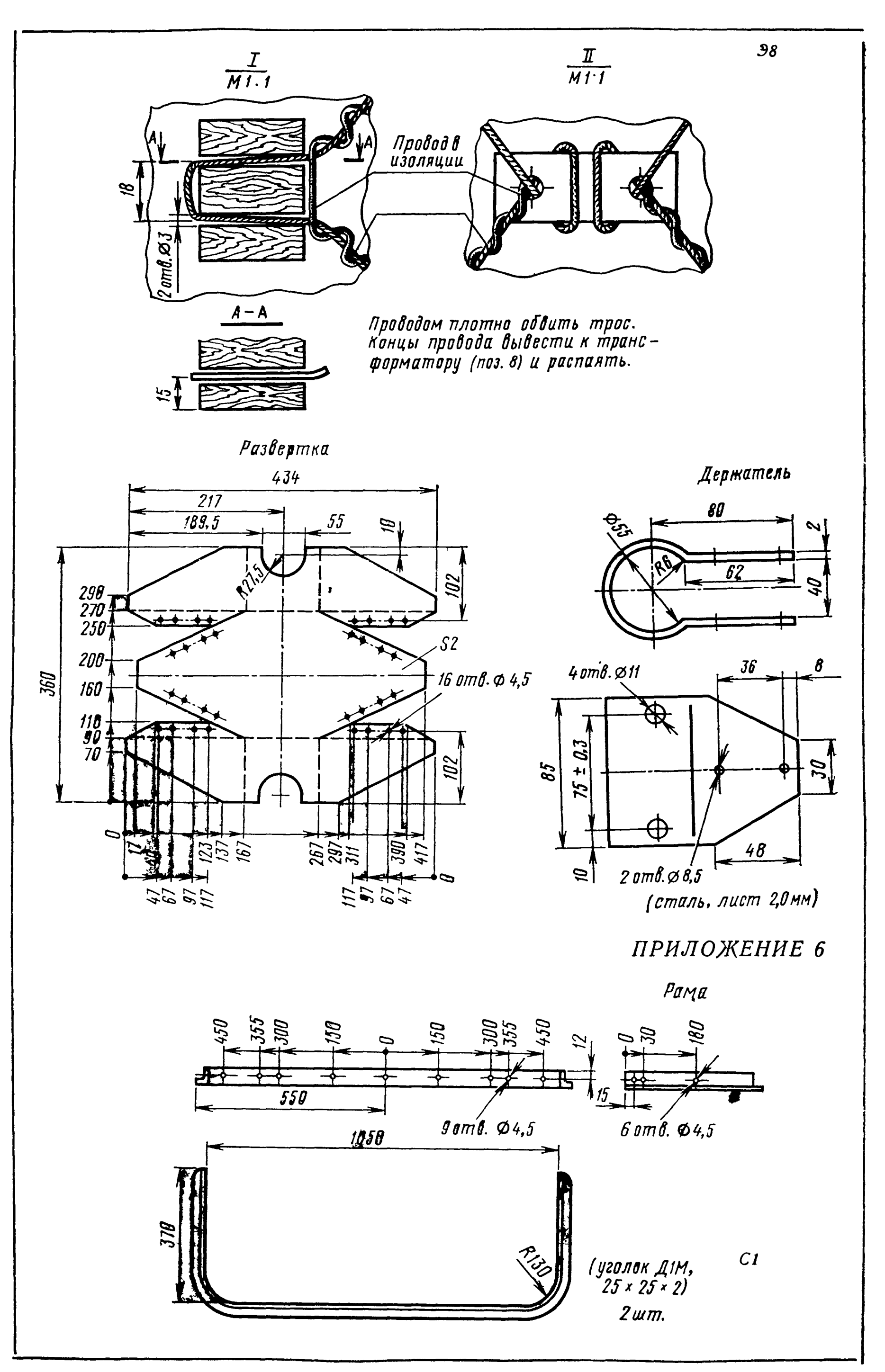
Просмолить

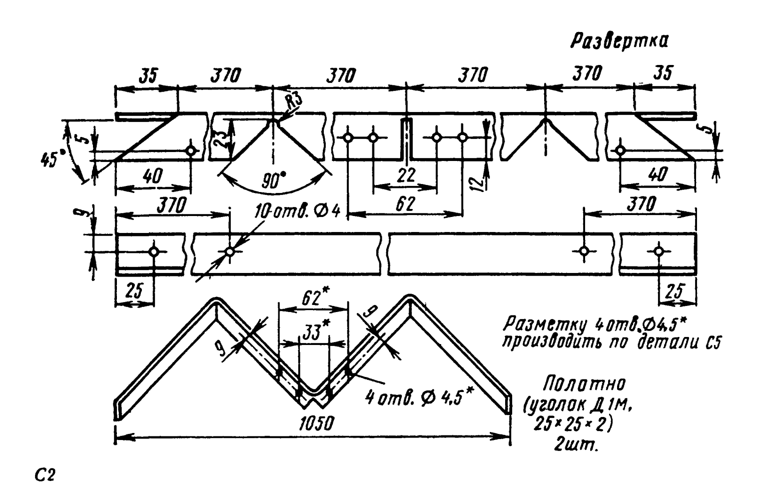
Э6



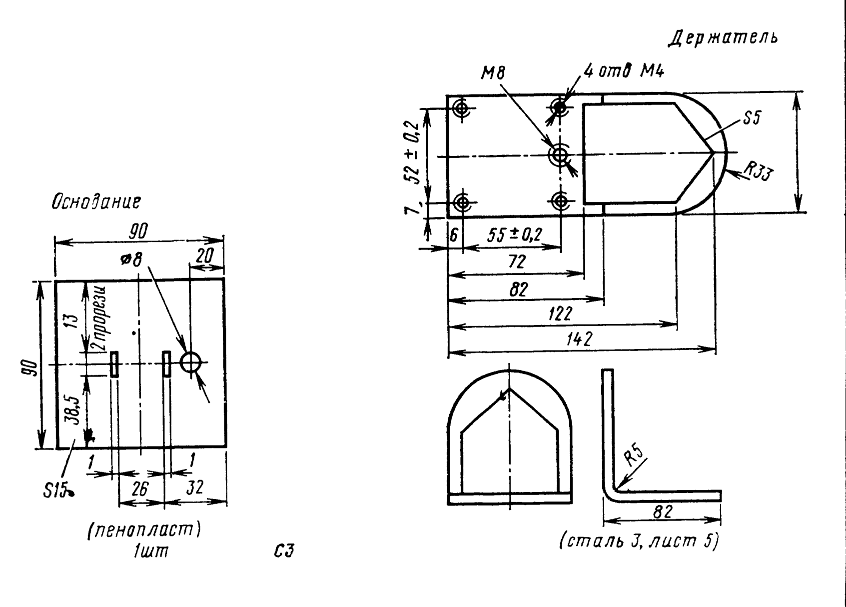
Э7


Э9—Э12
Скоба
Планка
4 отв. Ø3,4
S 1,5
216
(сплав Д1Т, лист 1,5)
4 отв. Ø5,5
(сталь, лист 1,5)
Брус
12 отв. Ø6 – 10
3400
Просмолить
(дерево)
III
М1:1
Гайка М10
Шайба 10
Брус Э4
Шайба 10
Трос
Болт М10×60 с отверстием Ø4 для троса
Брус
900
Просмолить
(дерево, 4шт)
Э12

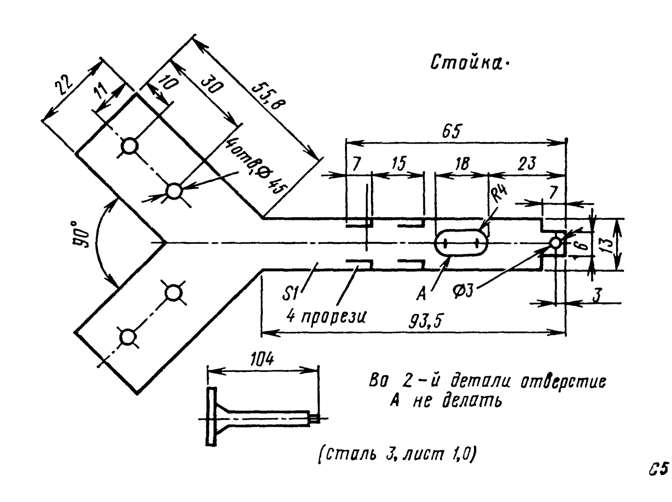

I / M1:1
II / M1:1
Провод в изоляции
A
18
2 отв. Ø3
A – A
15
Проводом плотно обвить трос. Концы провода вывести к трансформатору (поз. 8) и распаять.
Развертка
434
217
189,5
55
10
102
R27,5
S2
16 отв. Ф 4,5
360
Держатель
80
Ф55
R6
62
2
40
4 отв. Ø11
36
8
85
75 ± 0,3
30
48
10
2 отв. Ø 8,5
(сталь, лист 2,0 мм)
ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Рама
550
9 отв. Ф4,5
6 отв. Ф4,5
1050
370
R130
(уголок Д1М, 25 × 25 × 2)
2 шт.
C1

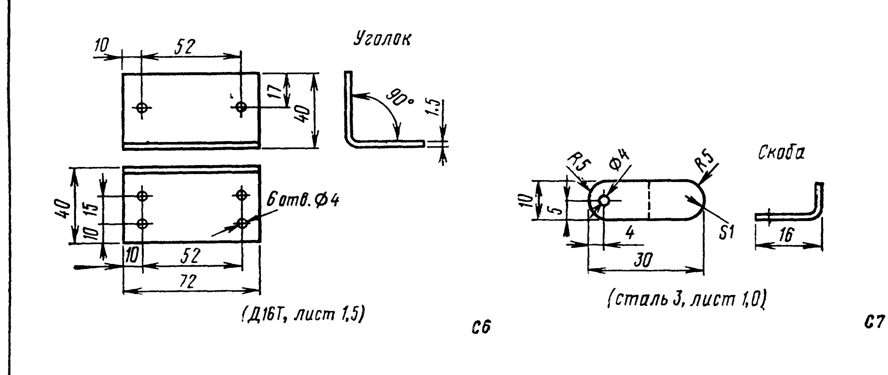

Развертка
35
370
370
370
370
35
R3
45°
5
23
90°
40
22
62
12
40
5
9
370
10 отв. Ø 4
370
25
25
62*
33*
9
9
4 отв. Ø 4,5*
1050
Разметку 4 отв. Ø4,5* производить по детали С5
Полотно (уголок Д 1М, 25×25×2) 2шт.

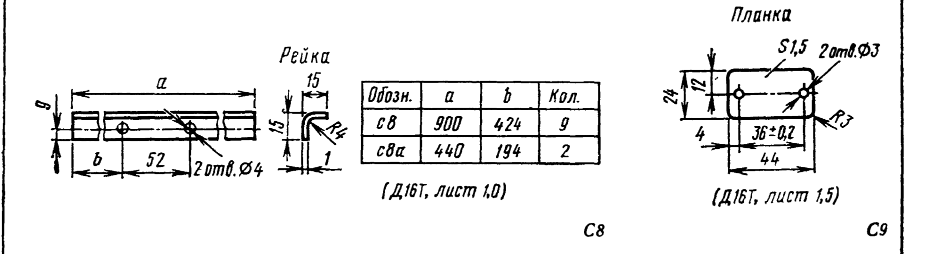
С2


Держатель
М8
4 отв М4
S5
R33
52 ± 0,2
7
6
55 ± 0,2
72
82
122
142
R5
82
(сталь 3, лист 5)
Основание
90
Ø8
20
13
2 прорези
90
38,5
1
1
S15
26
32
(пенопласт) 1шт

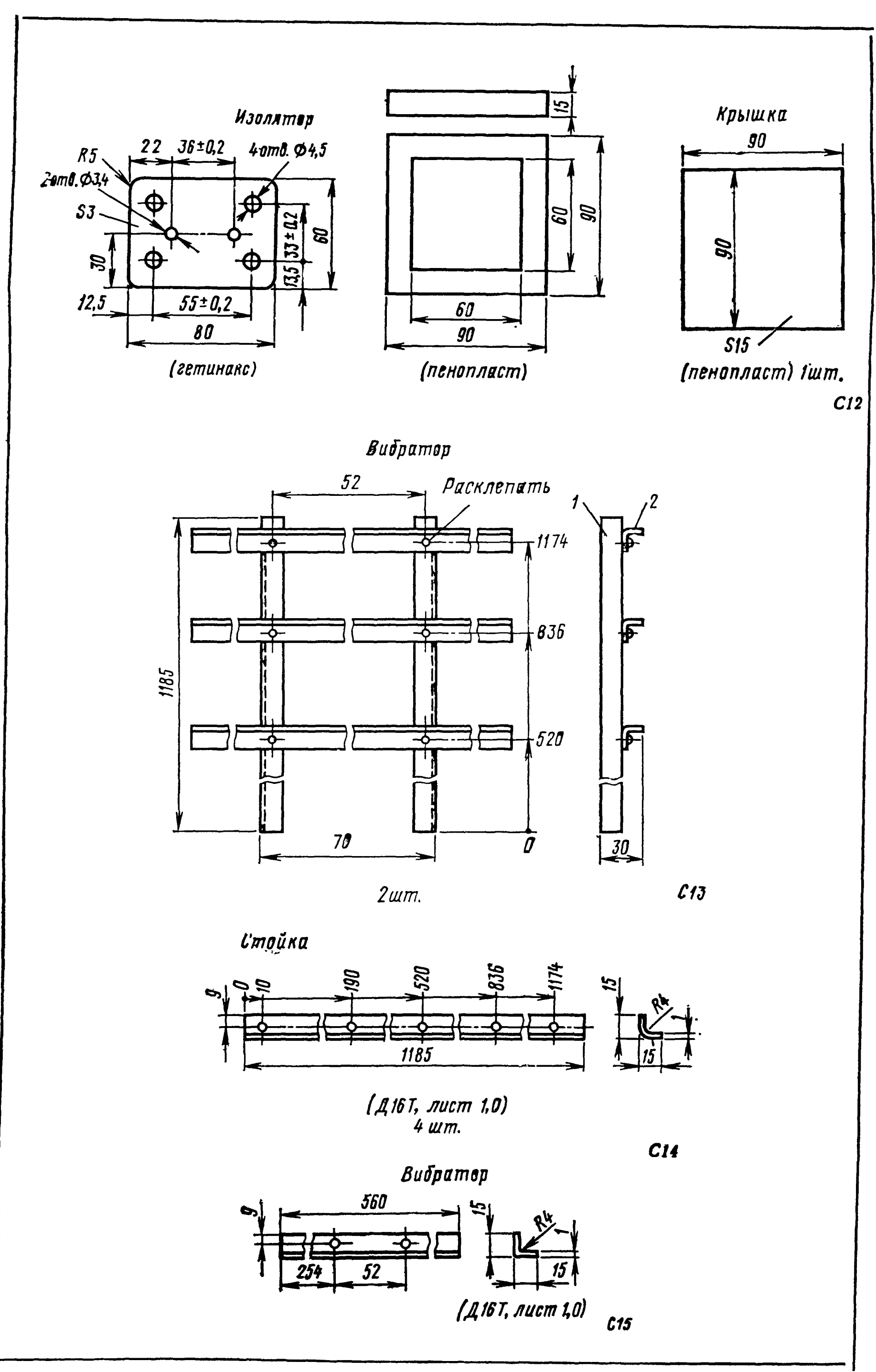
С3



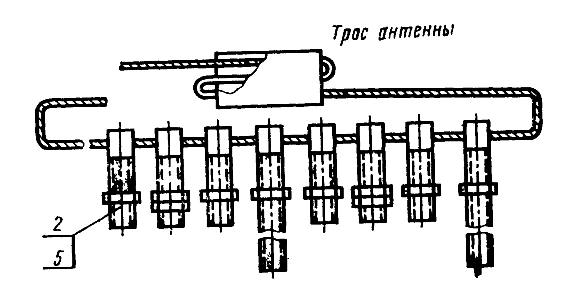




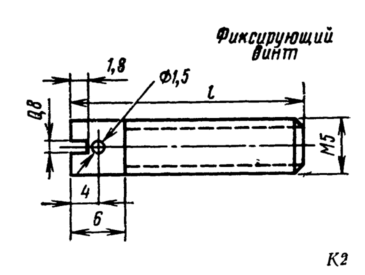
Обозн.	a	b	Кол.
с8	900	424	9
с8а	440	194	2


Изолятор
R5
2отв. Ф3,4
S3
22
36±0,2
4отв. Ф4,5
60
33±0,2
13,5
30
12,5
55±0,2
80
(гетинакс)
15
60
90
60
90
(пенопласт)
Крышка
90
90
S15
(пенопласт) 1шт.
C12
Вибратор
52
Расклепать
1
2
1174
836
520
1185
70
0
30
2шт.
C13
Стойка
9
0
10
190
520
836
1174
15
R4
1
15
1185
(Д16Т, лист 1,0)
4 шт.
C14
Вибратор
9
560
15
R4
1
254
52
15
(Д16Т, лист 1,0)
C15

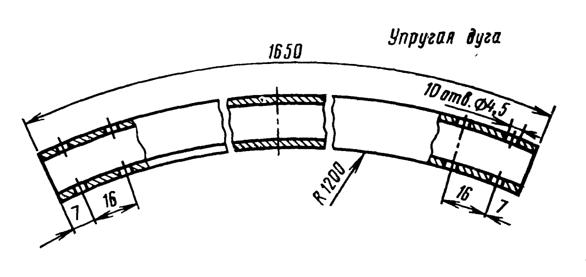
ПРИЛОЖЕНИЕ 7



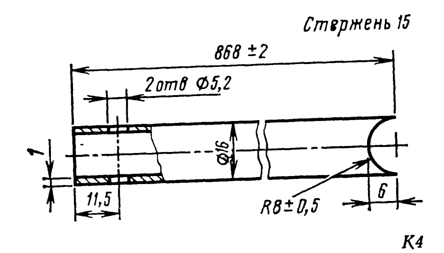
К1



К2

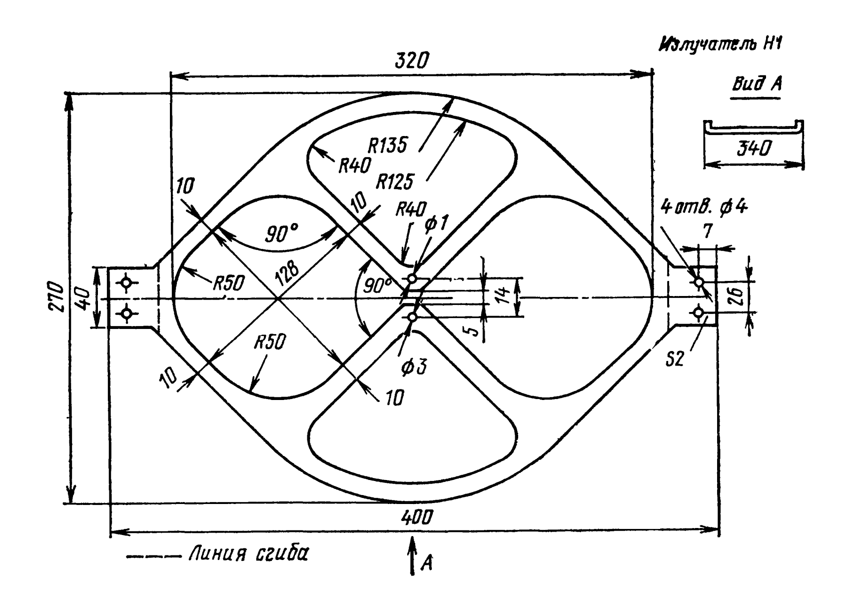


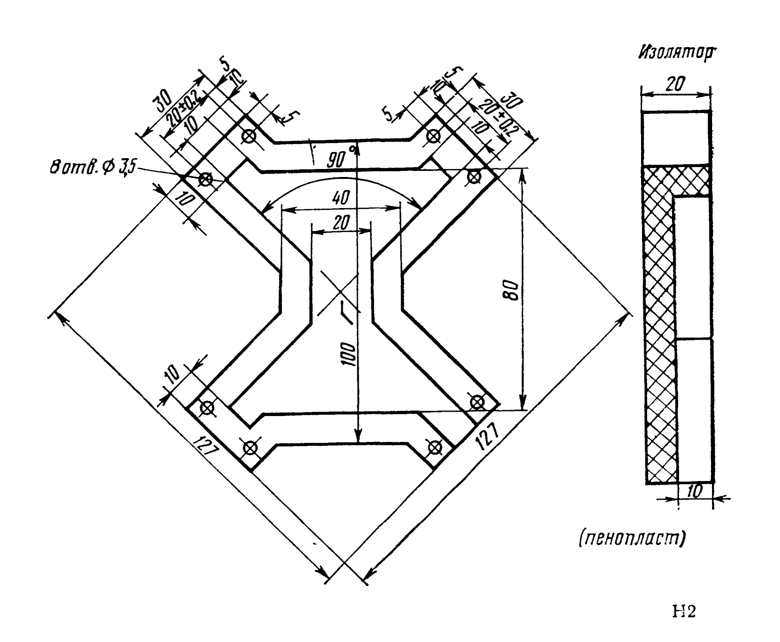
К3



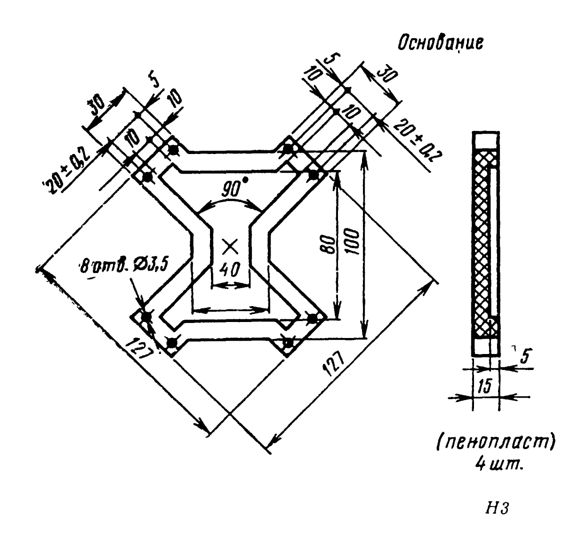
К4

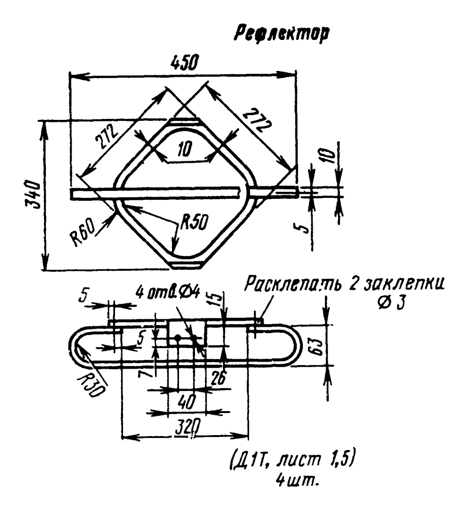
ПРИЛОЖЕНИЕ 8



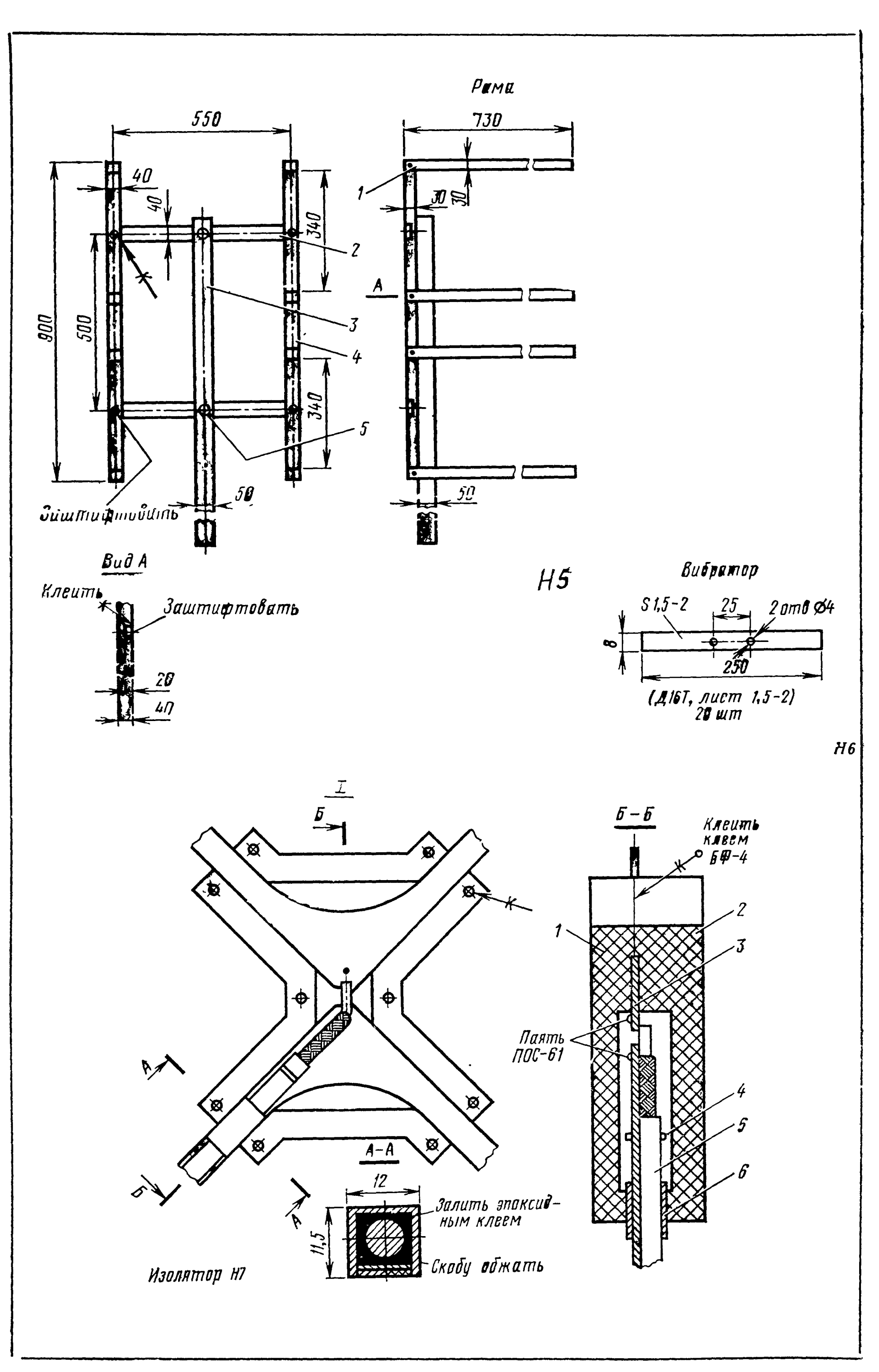


Н2


Основание
8 отв. Ø3,5
90°
40
80
100
127
127
30
5
10
10
20±0,2
(пенопласт)
4 шт.
15
5
Н3


Рефлектор
450
272
272
10
340
R60
R50
10
5
Расклепать 2 заклепки
Ø 3
4 отв. Ø4
5
15
5
7
26
63
R30
40
320
(Д1Т, лист 1,5)
4шт.

Н4



Рама
550
730
40
40
30
30
1
2
3
4
5
А
900
500
340
340
Заштифтовать
50
50
Вид А
Клеить
Заштифтовать
20
40
Н5
Вибратор
S1,5-2
25
2 отв Ø4
8
250
(Д16Т, лист 1,5-2)
20 шт
Н6
I
Б
Б
А
А
Б – Б
Клеить клеем БФ-4
1
2
3
Паять ПОС-61
4
5
6
А–А
12
11,5
Залить эпоксидным клеем
Скобу обжать
Изолятор Н7

ОГЛАВЛЕНИЕ

55 к.

"РАДИО И СВЯЗЬ"